

PEGMATITAS GRANÍTICAS DE LA REGIÓN NOROESTE DE ARGENTINA

Fernando G. SARDI¹, Raúl DE BARRIO², Fernando COLOMBO³,
Silvana MARANGONE¹, Andrea RAMIS², Marcela CURCI²

¹INSUGEO (UNT y CONICET). Miguel Lillo 205. (4000) San Miguel de Tucumán, Argentina.
Email: fgsardi@csnat.unt.edu.ar

²INREMI. Facultad de Ciencias Naturales y Museo, UNLP. Calle 64 esq. 120, s/n, 1er piso.
(1900) La Plata, Bs. As. Argentina.

³UNC-CONICET (CICTERRA). Av. Vélez Sarsfield 1611 (X5016GCA) Córdoba, Argentina.

RESUMEN

Se realiza una revisión general del contexto geológico regional y local de las pegmatitas graníticas ubicadas en el sector noroeste de Argentina pertenecientes a la Provincia Pegmatítica Pampeana, con el auxilio de la extensa bibliografía disponible y observaciones propias. Los ciclos orogénicos Pampeano (Precámbrico superior-Cámbrico inferior) y especialmente el Famatiniano (predominantemente Ordovícico) y Achaliano (Devónico Medio-Carbonífero inferior) tienen una relación genética con las pegmatitas estudiadas. Las rocas originadas durante el ciclo Famatiniano son de composición mayormente granítica, geoquímicamente metaluminosas y peraluminosas con características de granito tipo S y tipo I desarrolladas principalmente en un ambiente magmático de arco, el cual se relaciona a la formación de pegmatitas en su gran mayoría LCT. El episodio tecto-magmático siguiente, denominado Achaliano, corresponde a la formación de granitos post-orogénicos, altamente ricos en SiO₂, y con características de granito tipo A desarrollados en un ambiente de intraplaca los que tienen vinculación con pegmatitas mayormente NYF o mixtas.

Se ha considerado conveniente para una mejor comprensión, agrupar a las pegmatitas de la región noroeste en cinco grupos de acuerdo al mineral accesorio dominante o su estructura principal: *i*) pegmatitas muscovíticas y andalusíticas pertenecientes a las clases Muscovita y Muscovita-Elementos Raros. Se encuentran en los distritos de Centenario en Salta, Quilmes en Tucumán y Mazán-Ambato en La Rioja y Catamarca; *ii*) pegmatitas berilíferas pertenecientes a la clase de Elementos Raros, en su mayoría de la familia LCT con pocos representantes de la familia NYF. Este conjunto de pegmatitas tiene una amplia distribución en la región NOA, como en los distritos Cerro Blanco en Salta, Calchaquí en Tucumán, Ancasti en Catamarca y Velasco y Sierra Brava en La Rioja; *iii*) pegmatitas turmaliníferas desarrolladas en las zonas cumbres de la sierra de Ancasti en Catamarca; *iv*) pegmatitas espoduménicas y columbitico-tantalíticas, también de la clase Elementos Raros en los distritos El Quemado (Salta) y Ancasti (Catamarca) de la familia LCT; y *v*) pegmatitas mirolíticas intragraníticas, de la familia NYF, en los granitos El Portezuelo (Papachacra, Catamarca) y La Chinchilla (La Rioja).

Palabras clave: pegmatita, Sierras Pampeanas, región NOA, Argentina.

ABSTRACT

Granitic pegmatites from northwestern Argentina. The regional and local geological context of the granitic pegmatites located in northwestern Argentina are reviewed, using the data from the literature and our own observations. They belong to the Pampean Pegmatite Province. The Pampean (Upper Precambrian-Lower Cambrian), Famatinian (predominantly Ordovician) and Achaian (Middle Devonian-Lower Carboniferous) orogenic cycles have genetic relationship with the studied pegmatites. The rocks formed during the Famatinian cycle are mainly granitic in composition and geochemically metaluminous and peraluminous S and I type granites related to a magmatic arc setting. They originated mainly LCT pegmatites. The next magmatic episode, the Achaian, formed post-orogenic A-type granites in an intraplate setting related to NYF pegmatites.

The pegmatites of northwestern Argentina have been grouped in five varieties according to the dominant accessory minerals or structure: *i*) muscovite and andalusite-bearing pegmatites belonging to the Muscovite and Muscovite-Rare Element classes. They are located in the Centenario district in Salta province, in the Quilmes range in Tucumán province and in the Mazán-Ambato ranges in La Rioja and Catamarca provinces, respectively; *ii*) beryl-bearing pegmatites of the Rare Element class, mainly of the LCT family and subordinately of the NYF family. This group has wide areal distribution in NW Argentina, such as Cerro Blanco district (Salta), Calchaquí district (Tucumán), Ancasti district (Catamarca) and Velasco and Sierra Brava districts (La Rioja); *iii*) tourmaline-bearing pegmatites, particularly

found in the summit area of the Ancasti range (Catamarca); *iv*) spodumene and columbite-tantalite bearing pegmatites also belonging to the Rare Element class of the LCT family in the El Quemado (Salta) and Ancasti (Catamarca) districts; and *v*) intragranitic miarolitic pegmatites of the NYF family of the El Portezuelo (Papachacra, Catamarca) and La Chinchilla (La Rioja) granites.

Keywords: pegmatite, Sierras Pampeanas, northwestern Argentina.

INTRODUCCIÓN

Las pegmatitas graníticas son rocas ígneas que se caracterizan por varios atributos, entre ellos un tamaño de grano muy grueso (con cristales que pueden superar 1 m de longitud), variación marcada en la granulometría entre diferentes zonas del cuerpo, fábricas anisótropas y heterogeneidad química a diferentes escalas ya sea en la composición de los minerales o en su segregación dentro de la pegmatita (London 1992). Tienen una gran importancia económica ya que son fuentes de diversos metales raros (por ejemplo, Li, Rb, Cs, Be, Y, elementos de las tierras raras, Nb, Ta, Sn) y de minerales para aplicaciones industriales (por ejemplo, feldespatos, cuarzo, micas). Además, son portadoras de algunos minerales de aplicación en joyería (berilo en sus variedades aguamarina, heliodoro y morganita, turmalinas coloreadas, granates, topacio, crisoberilo y cuarzo, entre otros). A causa de esto, son explotadas a nivel mundial mediante operaciones mecánicas similares a otros depósitos de grandes tonelajes, o bien cuando son pequeños cuerpos, en forma rudimentaria y manual como ha ocurrido (y ocurre esporádicamente) en nuestro país y el exterior. Según datos de Galliski (2009), la producción nacional en pegmatitas graníticas excede el millón de toneladas de cuarzo y feldespato para uso en cerámica, decenas de miles de toneladas de mica, berilo y espodumeno, y unas 45 toneladas de minerales de tantalio. En la actualidad, algunos distritos pegmatíticos (Ancasti en la provincia de Catamarca, Conlara y La Estanzuela en la provincia de San Luis, y El Quemado en Salta) están siendo intensamente explorados por litio, metal que ha adquirido en los últimos años una trascendental importancia por sus múltiples aplicaciones industriales.

En la unidad morfoestructural de Sierras Pampeanas, ubicada en el sector centro y noroeste de nuestro país entre las latitudes 24° 30' S y 33° 30' S y caracterizada por contener un voluminoso magmatismo paleozoico intruido en rocas metamórficas de grado bajo, medio y alto, se localizan numerosos distritos y campos de pegmatitas agrupados por Galliski (1994a) como la Provincia Pegmatítica Pampeana. Es una de las tres provincias pegmatíticas reconocidas en América del Sur; las otras dos, situadas en Brasil, corresponden a la Provincia

Oriental Brasileira y la Provincia Nororiental Brasileira (o Borborema) (Da Silva *et al.* 1995, Morteani *et al.* 2000, Preinfalk *et al.* 2000; Figura 1a).

Entre los estudios regionales pioneros de la Provincia Pegmatítica Pampeana se mencionan los trabajos de Herrera (1965, 1968) agrupando a las pegmatitas en cuatro grupos principales de acuerdo a la estructura interna, composición y asociaciones minerales. Los grupos son nombrados numéricamente desde 1 a 4 en un orden creciente de fraccionamiento, siendo las pegmatitas tipo 1 aquellas estériles compuestas esencialmente de cuarzo y feldespatos (con muy escasa participación de berilo) hasta las pegmatitas tipo 4 altamente evolucionadas constituidas por una importante mineralización de Li y con intensos fenómenos de metasomatismo de Na. Galliski (1994a y b) agrupa a las pegmatitas geográficamente en distritos y campos dentro de la Provincia Pegmatítica Pampeana cuya distribución es de plena vigencia en la actualidad y además, los caracteriza en cuanto a su tipología y su metalogénesis. El mismo autor (Galliski 1999a, b, c y d) hace mención en forma más detallada de cada uno de los distritos.

Basándose en nuevas observaciones y sobre todo de la disponibilidad de datos isotópicos en rocas graníticas parentales, más recientemente Galliski (2009) agrupa dentro de la Provincia Pegmatítica Pampeana, cuatro distritos como de la clase Muscovita y quince distritos de la clase Elementos Raros emplazados en rocas metamórficas de diferentes grados de metamorfismo y también en rocas graníticas. Además, este autor introduce la denominación de 'campos o distritos pegmatíticos orogénicos' para aquellos desarrollados durante el Paleozoico inferior, especialmente durante el ciclo orogénico Famatiniano (de edad principalmente ordovícica), y 'campos o distritos pegmatíticos post-orogénicos' a aquellos relacionados genéticamente a granitos parentales de esa naturaleza del ciclo Achaiano (devónicos o carboníferos).

El objetivo de este trabajo es realizar una revisión general de las principales características geológicas, estructura interna y constitución mineralógica y geoquímica de las pegmatitas graníticas de la Provincia Pegmatítica Pampeana del noroeste argentino, combinando información publicada y observaciones propias.

MARCO GEOLÓGICO REGIONAL DEL SECTOR NOROESTE DE LA PROVINCIA PEGMATÍTICA PAMPEANA

Las Sierras Pampeanas del noroeste argentino están compuestas litológicamente por rocas metamórficas e ígneas de edad predominantemente paleozoica. Aceñolaza y Toselli (1973, 1981) han agrupado en ciclos orogénicos a los diferentes procesos geológicos (magmatismo, metamorfismo, sedimentación, tectónica) ocurridos en la región noroeste del país. Así, definieron el ciclo Pampeano, que se extiende entre el Precámbrico y Cámbrico inferior; ciclo Famatiniano, entre el Cámbrico superior y Carbonífero inferior; ciclo Precordillerano (Carbonífero superior-Triásico) y ciclo Andino (Cretácico hasta la actualidad). No obstante, hacia fines del ciclo Famatiniano se desarrolla un característico magmatismo que dio lugar a un conjunto de plutones generalmente con afinidad tipo A, emplazados durante el Devónico Medio y Carbonífero temprano, que fue denominado ciclo Achaliano por Sims *et al.* (1998). Adoptando esto último, el ciclo Famatiniano abarca temporalmente al Cámbrico superior-Devónico Inferior destacando sin embargo que la actividad tectono-magmática con mayor intensidad en la región del noroeste argentino ha sido durante el Ordovícico. Por otro lado, Sureda y Omarini (1999) acuñan el nombre de ciclo Pannotiano, siendo similar al Pampeano de Aceñolaza y Toselli (1981), y el ciclo Gondwaniano, abarcativo desde el final de este último hasta el Jurásico Medio, para finalizar como ciclo Andino desde ese período hasta el presente.

La característica geológica principal del ciclo Pampeano ha sido la sedimentación predominantemente de material clástico en una cuenca marina, con características de retroarco, desarrollada en el proto-margen occidental de Gondwana desde fines del Precámbrico a inicios del Paleozoico (*e.g.* Aceñolaza y Toselli 1981, Willner *et al.* 1990, Rapela *et al.* 2001). La litología dominante consiste de una sucesión de metapelitas y metapsamitas (metamorfismo regional de bajo a muy bajo grado) que aflora en amplios sectores del NOA, siendo la Formación Puncoviscana (Turner 1960) su exponente más conocido. Las rocas pertenecientes a la Formación Puncoviscana son consideradas como el material protolítico de otras rocas metamórficas de grado medio y alto que constituyen importantes afloramientos a lo largo de la región (Rossi *et al.* 2002, Larrovere *et al.* 2011).

El volumen del magmatismo del ciclo Pampeano es poco significativo en comparación al

ciclo que le sigue como así también su duración. Su distribución areal abarca el este de las Sierras Pampeanas y comprende reducidos afloramientos en el norte en las provincias de Salta y Jujuy (Aceñolaza y Toselli 1981, Rapela *et al.* 2001), la zona del batolito de Sierra Norte-Ambargasta (Lira *et al.* 1997, 2014, Elortegui Palacios *et al.* 2008, O'Leary *et al.* 2009, 2014, Ianizzotto *et al.* 2013) y otros en el sector occidental de la provincia de Santiago del Estero (Dahlquist *et al.* 2016). Este evento habría tenido lugar en un contexto geológico de arco magmático activo en el borde occidental de Gondwana dando origen a granitoides usualmente metaluminosos y calcoalcalinos de afinidades tipo I (Lira *et al.* 1997, Rapela *et al.* 2001).

En tanto, el ciclo Famatiniano tiene un desarrollo importante en la región del NOA, registrándose un voluminoso magmatismo dando origen a numerosos cuerpos plutónicos de composición mayormente granítica relacionados a un arco magmático activo-orogénico desarrollado principalmente durante el Ordovícico (*e.g.* Rapela *et al.* 2001, Miller y Söllner 2005, Dahlquist *et al.* 2006, 2013, Toselli *et al.* 2007), mientras que el ciclo Achaliano se desarrolló durante el Devónico Medio-Carbonífero inferior con un magmatismo esencialmente post-orogénico (*e.g.* Dahlquist *et al.* 2006, 2010, Grosse *et al.* 2009).

También durante el ciclo Famatiniano tuvo lugar un metamorfismo regional esencialmente sobre rocas de la Formación Puncoviscana y equivalentes del ciclo precedente (*e.g.* Willner 1990, Rossi *et al.* 2002, Larrovere *et al.* 2012) y un metamorfismo dinamo-térmico de edad silúrica superior-devónica inferior dando como resultado extensas fajas de cizalla de dirección NNO con rocas protomiloníticas y milonitas cuyo protolito habrían sido rocas esencialmente graníticas de edad ordovícica (Höckenreiner *et al.* 2003, Söllner *et al.* 2003, Miller y Söllner 2005).

Toselli *et al.* (1986) realizan una zonificación de las Sierras Pampeanas identificando cuatro grandes zonas según la composición litológica (Figura 1b). Ellas son, de este a oeste: *i*) una zona batolítica oriental que comprende granitos y granodioritas con escasos afloramientos de rocas metamórficas; *ii*) una zona ígnea-metamórfica central constituida por gneises, migmatitas, esquistos y filitas, y cuerpos graníticos, los cuales son de grandes dimensiones especialmente en Córdoba y San Luis, pero en el NOA son muy pequeños; *iii*) una zona batolítica central que en la región NOA es de composición granítica a granodiorítica; y *iv*) una zona ígnea-metamórfica occidental formada especialmente por anfibolitas y mármoles, como

así también rocas básicas y ultrabásicas, gneises, esquistos y migmatitas.

Por otro lado, y sobre la base de la litología y datos geoquímicos, Pankhurst *et al.* (2000) reconocen tres tipos de granitoides, temporalmente contemporáneos del Ordovícico inferior, correspondientes a la faja orogénica Famatiniana del NOA: TTG (trondhjemita-tonalita-granodiorita), granitoides metaluminosos tipo I y granitos tipo S (Figura 1b). Gran parte de las rocas del primer grupo se habrían originado por fusión de una fuente empobrecida a presiones de 10-12 kbar. En cambio, las rocas de los otros dos grupos se habrían formado a menor profundidad, a niveles corticales y en menor medida mantélicos. En especial los granitos cordieríticos, altamente peraluminosos de afinidad S, habrían sido originados por anatexis de rocas metasedimentarias depositadas durante el ciclo Pampeano.

El ciclo Achaliano se caracteriza por intrusiones graníticas de naturaleza post-orogénica, generalmente hacia el sur y sureste de la región NOA las cuales poseen características de granitos tipo A (*e.g.* Grosse *et al.* 2009, Dahlquist *et al.* 2010, Colombo *et al.* 2011a), tipos de granitos que también fueron reconocidos en el Sistema de Famatina, unidad morfoestructural vecina a Sierras Pampeanas (Alasino *et al.* 2012). Según Dahlquist *et al.* (2010), estos granitos tipo A habrían sido emplazados en ambientes de intraplaca y gran parte de ellos fueron desarrollados a lo largo de zonas de cizallas. En general, algunos de estos cuerpos tienen relación genética con pegmatitas de la región como las de berilo de la sierra de Velasco (Sardi *et al.* 2010, 2015) y las miarolíticas también de la sierra de Velasco (Lira *et al.* 2015) y de Papachacra (Colombo *et al.* 2011a).

PROVINCIA PEGMATÍTICA PAMPEANA

La Provincia Pegmatítica Pampeana está compuesta por pegmatitas de diferente naturaleza mineralógica, signatura geoquímica y edad, aunque predominan las pegmatitas de las clases Muscovita y Elementos Raros, y entre éstas últimas, mayormente corresponden a la familia LCT (Li-Cs-Ta) y en menor medida a la familia NYF (Nb-Y-F) de acuerdo a la clasificación de Černý y Ercit (2005).

Del conjunto de las pegmatitas del noroeste argentino ubicadas en la Provincia Pegmatítica Pampeana, sector septentrional, se ha considerado adecuado para la presente revisión dividir a las mismas de acuerdo a su mineral accesorio predominante o a su estructura principal. De ello resul-

tan los siguientes conjuntos de pegmatitas (Figura 1b) con indicación de los distritos correspondientes según denominación de Galliski (1994a):

- Pegmatitas muscovíticas y andalucíticas: comprenden, de norte a sur, los distritos Centenario (Salta), Quilmes (Tucumán) y Mazán-Ambato (La Rioja y Catamarca).
- Pegmatitas berilíferas: integradas por los distritos Cerro Blanco (Salta), Calchaquí (Tucumán), Ancasti-brl* (Catamarca), Sierra Brava (La Rioja) y Velasco (La Rioja).
- Pegmatitas turmaliníferas: forman parte del distrito Ancasti (Catamarca).
- Pegmatitas espoduménicas (-lepidolíticas) y columbita-tantalíticas: distritos El Quemado (Salta) y Ancasti-spd* (Catamarca).
- Pegmatitas miarolíticas intragraníticas: granitos El Portezuelo (Catamarca) y La Chinchilla (La Rioja).

*Particularmente para el distrito Ancasti en el que se encuentran pegmatitas portadoras tanto de berilo (brl) como de espodumeno (spd), se ha adoptado la abreviación de tales minerales según nomenclatura de Whitney y Evans (2010) subsiguientemente al nombre del distrito.

PEGMATITAS MUSCOVÍTICAS Y ANDALUCÍTICAS

El distrito Centenario se encuentra ubicado al oeste del salar del mismo nombre en Salta. El distrito de Ambato se encuentra en las sierras del mismo nombre, Gracián, Faniñango y Humaya, todas en Catamarca, mientras que los distritos de Quilmes y Mazán se ubican en las sierras homónimas de Tucumán y la porción sur de Salta, en los Valles Calchaquíes, y en el sector centro-este de La Rioja.

Los distritos pegmatíticos Centenario, Ambato y Quilmes fueron explotados por mica, los dos últimos desde los años 1943-1945 hasta 1979 (Galliski 1999a). Asimismo, las pegmatitas de Ambato-Mazán y Cerro Blanco (Galliski 1994a) son las únicas que se conocen en el país portadoras de andalucita en cantidades importantes. Han sido trabajadas entre los años 1975 y 1979 a través de pequeñas labores a cielo abierto. Esta andalucita ha sido utilizada en la industria cerámica para la elaboración de ladrillos refractarios. La mina más conocida es La Dichosa ubicada en la ladera occidental de la sierra de Ambato, departamento Arauco. Las labores Aurora y Refrac se hallan hacia el oeste de La Dichosa, en el departamento Capital a 30 km al sur de Villa Mazán sobre la ruta provincial N° 10.

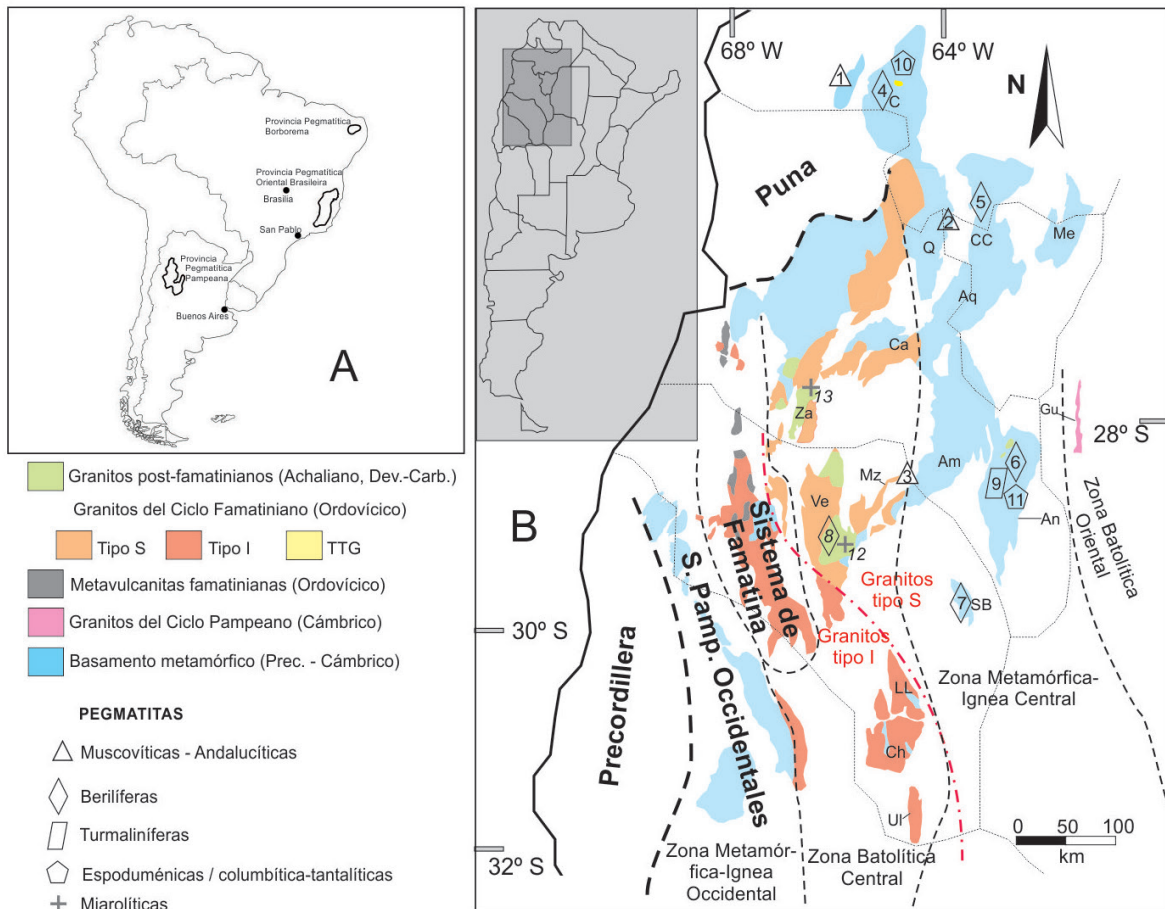


Figura 1. A) Ubicación geográfica de la Provincia Pegmatítica Pampeana en Sudamérica, con indicación de las otras provincias pegmatíticas de Brasil, Nororiental o Borborema y Oriental. **B)** Mapa geológico regional de la Provincia Pegmatítica Pampeana. Divisiones en fajas ígneo-metamórficas y tipos de granitos dominantes según Toselli *et al.* (1986) y Pankhurst *et al.* (2000), respectivamente. Referencias orográficas: C, sierra de Cachi; Me, sierra de Medina; CC, Cumbres Calchaquíes; Q, sierra de Quilmes; Aq, sierra de Aconquija; Ca, sierra de Capillitas; Za, sierra de Zapata; An, sierra de Ancasti; Gu, sierra de Guasayán; Am, sierra de Ambato; Mz, sierra de Mazán; Ul, sierra de Ulapes; Ch, sierra de Chepes. Referencias distritos pegmatíticos: 1, Centenario; 2, Quilmes; 3, Mazán-Ambato; 4, Cerro Blanco; 5, Calchaquí; 6, 9 y 11, Ancasti; 7, Sierra Brava; 8, Velasco; 10, El Quemado; 12, Granito El Portezuelo (Papachacra); 13, Granito La Chinchilla. En cursiva, distritos 'postorogénicos' de acuerdo a nomenclatura de Galliski (2009).

En estas pegmatitas se contabilizó la extracción de 14 t de silicato de aluminio y un volumen menor de micas muscovíticas. Actualmente se encuentran inactivas. La presencia de ilmenita en cristales bien desarrollados constituye sólo una curiosidad mineralógica (Schalamuk y Ramis 1999).

Geología local

En general, los cuerpos pegmatíticos de los distritos Centenario, Ambato y Quilmes se alojan en rocas metamórficas regionales de medio a alto grado, esquistos micáceos inyectados, migmatitas y gneises. El conjunto metamórfico es intruido por granitoides de carácter orogénico, algunos con diferenciados pegmatoides, de composición granodiorítica hasta granítica (Galliski 1994a, 1999a). Asimismo, suelen observarse transiciones de esquistos puros o migmatíticos o granitos foliados hasta gra-

nitos normales (Caminos 1979). En los granitos es frecuente la presencia de xenolitos compuestos por abundante biotita, cuarzo y feldespato potásico, sus dimensiones oscilan entre 10 y 20 cm de diámetro.

Por su parte la roca que contiene las pegmatitas andalucíticas de Ambato-Mazán es un granito cordierítico de edad ordovícica denominado Granito Mazán (Fogliata y Ávila 1997). Es un granito de textura porfiroide con megacrístales de microclino peritítico en una matriz equigranular (Sardi *et al.* 2009a y b) y con enclaves metapelíticos y metapsamíticos (Figura 2). Schalamuk *et al.* (1989) reconocen además, andalucita, granate y apatita como accesorios en el granito.

Pegmatitas

Roca de caja y relación de campo. Las pegmatitas muestran contactos netos con la roca de caja, con



Figura 2. Fotografías del Granito Mazán con enclaves metamórficos correspondientes a leptometamorfitas del ciclo Pampeano.

fenómenos de turmalinización en el distrito Centenario (Galliski 1994a) y la misma alteración acompañada de silicificación en el distrito Mazán (Sardi et al. 2009b).

Morfología y dimensiones. Según Galliski (1994a), los cuerpos en el distrito Centenario son tabulares, subconcordantes, con longitudes entre 100 y 200 m y espesores entre 1 y 3 m. Las pegmatitas del distrito Mazán son elipsoidales, subcirculares, cuyos ejes mayores no sobrepasan los 100 m (Sardi et al. 2009b).

Los cuerpos pegmatíticos de Ambato-Mazán presentan formas lenticulares, globosas y tabulares. Sus potencias oscilan entre 4 y 20 m y las longitudes de 20 a 80 m en el área de La Dichosa y más de 300 m con asomos discontinuos en Refrac. Los rumbos predominantes tienen dirección NNE-SSO a E-O. En la zona de Refrac el rumbo es N 35-40° y su buzamiento es 60-80° al SE.

Estructura interna y mineralogía. En el distrito Quilmes las pegmatitas presentan zonación irregular y escaso berilo como mineral accesorio. En el distrito Ambato la zonación de las pegmatitas también es irregular y en general se distinguen no más de cuatro unidades (Galliski 1994a). Los minerales accesorios son biotita, granate, turmalina, topacio, apatita y escaso berilo. La muscovita explotada se encuentra en la zona intermedia, de buena calidad y grado 4-5.

Las pegmatitas de Ambato-Mazán registran estructuras heterogéneas y un ordenamiento textural y mineralógico. En términos generales, se pueden diferenciar las siguientes zonas:

- Zona marginal: de grano mediano a fino, constituida por plagioclasa (albita-oligoclasa), cuarzo y microclino con intercrecimientos gráficos, micas (biotita-muscovita) y como acce-

sorios pequeños cristales de turmalina negra y granate. El espesor es de pocos mm a 10 cm.

- Zona intermedia: de 40 a 50 cm a 3 m de espesor, integrada por microclino pertítico, cuarzo, muscovita y escasa biotita.
- Zona central: forma y dimensión irregular, constituida por masas de cuarzo y microclino, de color rosado para las pegmatitas de Ambato (Garrido et al. 1984).

Como característica distintiva de estos cuerpos pegmatíticos de Ambato-Mazán cabe destacar la presencia de andalucita y escasa sillimanita. La andalucita se presenta en agregados fibrorradiales de hasta 50 cm de longitud y aparece en las zonas intermedia (Figura 3) y marginal de las pegmatitas del distrito Ambato. Asociado a andalucita, Sardi et al. (2009b) encontraron corindón en una de las pegmatitas del grupo Mazán (pegmatita La Aurora).

Química mineral y geocronología. Análisis por vía húmeda de feldespato pertítico de las zonas intermedias de dos pegmatitas del grupo Mazán (La Aurora y La Angostura) tienen entre 10,4 y 11,7% de K_2O , 0,29 a 0,62% de P_2O_5 y 3,4 y 4,4% de Na_2O .



Figura 3. Fotografía de andalucita en agregados fibrorradiales (mina La Dichosa).

En cuanto a concentraciones de elementos traza, se observan valores muy variables de Rb (501-2.061 ppm) y Cs (8,3-28 ppm) y relaciones K/Rb y K/Cs de 45-193 y 2.024-11.680, respectivamente (Sardi y Lozano Fernández 2010). Asimismo, estos autores también analizan muscovitas procedentes de las zonas intermedias arrojando valores de 9,81-10,00% de K_2O , 1.055-2.283 ppm de Rb y 29-284 ppm de Li.

Sureda *et al.* (1986) asignan una edad devónica-carbonífera al distrito Centenario. Por su parte, una errorcra Rb/Sr determinada por Sardi y Fuenlabrada Pérez (2011) ha dado como resultado una edad de $461,8 \pm 9,0$ Ma correspondiente al Ordovícico, en concordancia temporal con el granito cordierítico parental de Mazán y con una relación inicial $^{87}Sr/^{86}Sr$ de 0,704.

Tipología. Las pegmatitas de Ambato corresponden al denominado Grupo Occidental (Tipo 2) de Herrera (1964). De acuerdo a la tipología y distribución establecida por Galliski (1994a) los cuerpos mencionados pertenecen a la familia LCT, clase Muscovita. De este agrupamiento, se diferencian las pegmatitas andalucíticas de La Aurora, Refrac y La Dichosa que, en base a sus rasgos mineralógicos, químicos y estructura zonal, no quedan exactamente comprendidas en esa tipología ya que parecen ser transicionales entre las clases Muscovita y Elementos Raros (Galliski 1994a, Schalamuk y Ramis 1999). Su origen estaría asociado a procesos de anatexis de materiales corticales peraluminosos.

Estudio de inclusiones fluidas e isótopos estables. En muestras de cuarzo procedentes del sector central de la pegmatita La Dichosa se llevaron a cabo estudios petrográficos y microtermométricos de inclusiones fluidas e isótopos estables (Ramis *et al.* 2006, Curci *et al.* 2016).

Los análisis realizados en secciones bipulidas indican que las inclusiones fluidas pueden dividirse en los siguientes tipos:

- Tipo I: acuosas-carbónicas CO_2 - H_2O -NaCl- (CH_4) . Son inclusiones bifásicas ($L_{H_2O} + V_{CO_2}$) y monofásicas (V_{CO_2}). La proporción volumétrica de la fase rica en CO_2 varía entre 40-60% del volumen total de la inclusión, llegando a ocupar el 100% del volumen en las monofásicas. Presentan morfologías irregulares, alargadas y ovoides con tamaños que varían entre 20 y 40 μm (Figura 4a, b y c). Están distribuidas en grupos conformando arreglos tridimensionales aleatorios (origen primario). La temperatura de fusión del CO_2 (T_{mCO_2}) tiene lugar entre -57°C y -62°C, rango que indicaría la presencia

de significativas pero variables cantidades de otro componente (posiblemente CH_4) disueltas en la fase CO_2 (Hollister y Burruss 1976). La salinidad del fluido acuoso entrampado en las inclusiones analizadas ha sido determinada a partir de la temperatura de fusión de los clatratos; el rango obtenido varía entre +10°C y +8°C, correspondiéndole salinidades de 0% a 4% en peso NaCl equivalente, calculado con el diagrama de Collins (1979). No obstante, en algunas inclusiones dicha temperatura superó los +10°C (+15°C) corroborando la existencia de CH_4 (Shepherd *et al.* 1985). Por su parte, la $Th_{parcial} CO_2$ (en fase vapor) se encuentra entre +1°C y -7°C poniendo de manifiesto una densidad menor a la crítica (0,468 g/cm³). En las inclusiones fluidas estudiadas no se observaron evidencias de ebullición. Con respecto a la homogeneización de las fases acuosa y carbónica, la T_{htotal} se produce en esta última entre 320°C y 390°C. En aquellas inclusiones con un importante porcentaje de fase vapor (> 60% vtotal) dicha temperatura de homogeneización fue difícil de alcanzar debido a la decrepitación de las cavidades por aumento de la presión interna con el aumento de la temperatura.

- Tipo II: son inclusiones bifásicas acuosas, la fase vapor ocupa entre 20% y 40% del volumen total de la inclusión (Figura 4d). Tienen morfología regular hasta cristal negativo y en ocasiones ovoides. El tamaño de las cavidades varía entre 20 y 50 μm . Están distribuidas a lo largo de planos de microfracturas y en menor medida al azar, se las interpreta como pseudo-seundarias. La T_e (temperatura del eutéctico) ocurre entre -22°C y -20°C, evidenciando un sistema H_2O -NaCl. La temperatura de fusión final de los cristales de hielo (T_{fhielo}) varió entre -1,9°C y -4°C. La salinidad presenta valores entre 3,2% y 6,4% en peso NaCl equivalente (Bodnar 1993). La Th_{total} osciló entre 230°C y 260°C en fase líquida.

- Tipo III: son inclusiones bifásicas acuosas de muy pequeño tamaño, no superan los 10 μm y están dispuestas en trenes. Su origen es secundario. Debido al reducido tamaño de las cavidades no siempre fue posible observar los cambios de fase durante los ensayos microtermométricos. En escasas ocasiones pudo determinarse la temperatura de homogeneización ($Th_{liquido}$) arrojando valores comprendidos entre 140°C y 180°C.

El estudio de isótopos estables ($^{18}O/^{16}O$) fue realizado en muestras de cuarzo de la pegmatita

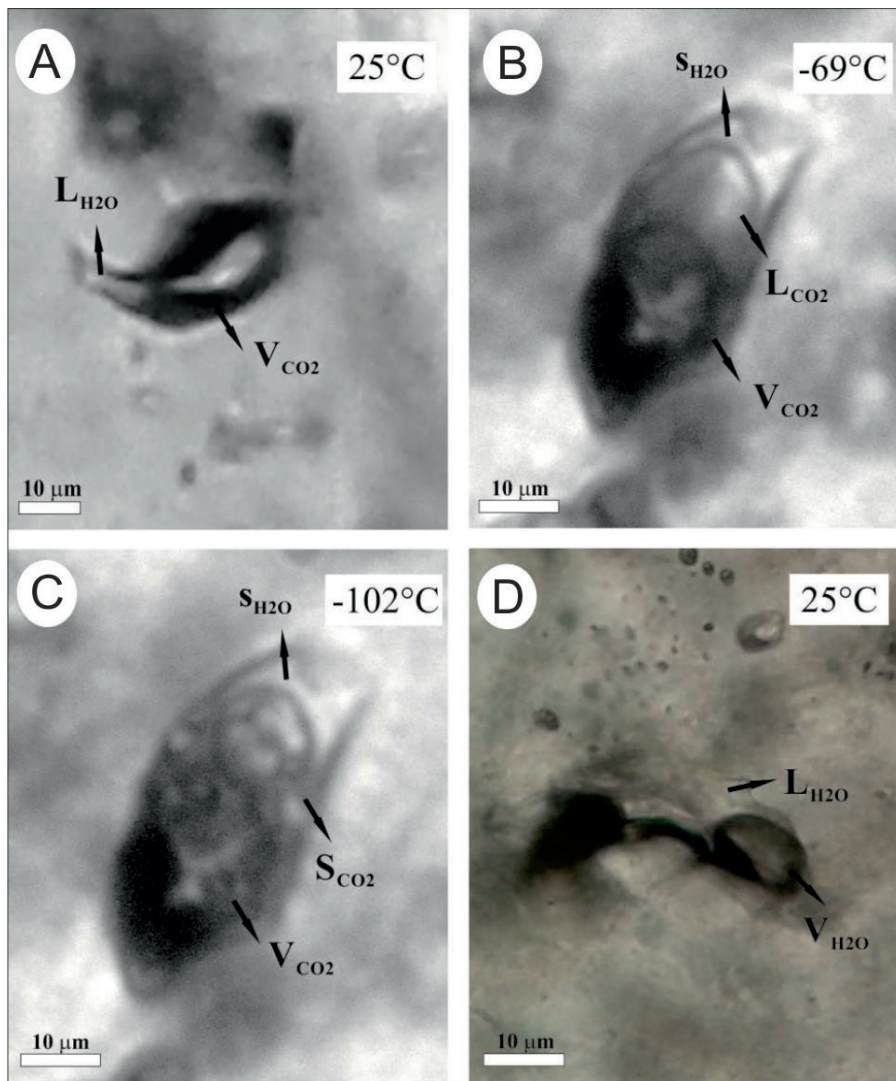


Figura 4. Microfotografías de inclusiones fluidas. **A)** Tipo I rica en fase vapor de CO_2 a 25°C . **B)** Tipo I evidenciando la formación de una película de CO_2 líquido durante la etapa criométrica (-69°C). **C)** Idem **B)** donde se observa la solidificación del CO_2 (-102°C). **D)** Tipo II bifásica acuosa a 25°C . $\text{S}_{\text{H}_2\text{O}}$: hielo.

La Dichosa (Curci *et al.* 2016). Los resultados están dados en relación al estándar SMOW (Standard Mean Ocean Water). Para calcular el fraccionamiento isotópico de las aguas en equilibrio ($\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}/\text{SMOW}}$) se utilizó la ecuación de Zheng (1993). El valor de temperatura corresponde a la temperatura de homogeneización de las inclusiones fluidas tipo I (390°C). En la Tabla 1 se pre-

sentan los valores para el $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ del cuarzo y sus respectivos $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ del fluido en equilibrio. Los resultados obtenidos de $\delta^{18}\text{O}_{\text{fluido}}$ arrojan valores comprendidos entre $+8,39\text{‰}$ y $+8,59\text{‰}$, indicando una afinidad con fuentes magmáticas.

Comparados los valores $\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}}$ de la pegmatita La Dichosa con los de otras pegmatitas similares tipo Muscovita de Norteamérica y Noruega,

Tabla 1. Valores de isótopos de oxígeno en muestras de cuarzo de la pegmatita La Dichosa.

Muestra	$\delta^{18}\text{O}_{\text{SMOW}} \text{‰}$	$^\circ\text{C}$ (Th IF tipo I)	$\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}/\text{SMOW}} \text{‰}$
M-3160	13,2	390	+8,49
M-5003	13,3	390	+8,59
M-5015b	13,3	390	+8,59
M-5015a	13,1	390	+8,39

también en muestras de cuarzo (Taylor *et al.* 1979, Taylor y Friedrichsen 1983) se observa que los datos obtenidos, variables entre $\delta^{18}\text{O}_{\text{qzSMOW}} +13,1$ y $+13,3\text{‰}$, son apenas superiores a los registrados en esas localidades que alcanzan máximos de $+12,8\text{‰}$ (Figura 5; Curci *et al.* 2016).

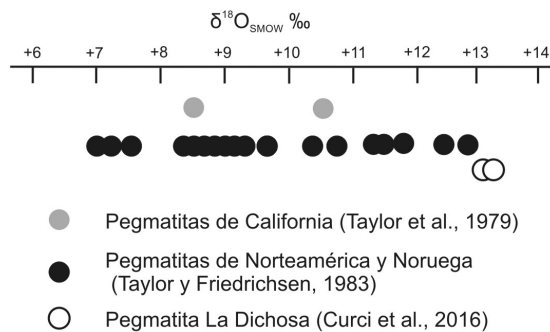


Figura 5. Gráfico de comparación de isótopos de oxígeno de pegmatitas graníticas tipo Muscovita de diversas localidades del mundo y de la pegmatita La Dichosa.

PEGMATITAS TURMALINÍFERAS DE LA SIERRA DE ANCASTI

Se hace mención aquí a un grupo de pegmatitas turmaliníferas ubicadas en las áreas cumbres de la sierra de Ancasti (Figura 6). Lottner (1983) menciona una faja de pegmatitas ricas en turmalina de unos 3,5 km de ancho, de rumbo meridional, en la cumbre o inmediaciones a ella de la sierra de Ancasti desde el paraje Los Altos de la Cruz al norte hasta El Taco al sur, siguiendo hacia La Majada en dirección SSE. La cantidad de turmalina disminuye del centro de la zona hacia los bordes. Se observa reemplazo de biotita por turmalina en los esquistos de la roca de caja.

Según las observaciones de Lottner (1983), son pegmatitas en contacto neto con la estructura principal de la roca de caja, pero muy raramente están en contacto formando un ángulo agudo. Tienen un rumbo general NNE-SSO y NNO-SSE, y disposición vertical a subvertical (entre 70° y 90°). Son de forma lenticular, tienen entre 100 y 600 m de longitud y alcanzan espesores de 25 m.

PEGMATITAS BERILÍFERAS

Las pegmatitas portadoras de berilo como mineral accesorio importante de la Provincia Pegmatítica Pampeana del noroeste argentino comprenden los distritos, de N a S (Figura 1):

- Cerro Blanco, ubicado en el cordón de Oire Grande, provincia de Salta;
- Quilmes, en la sierra homónima, al NO de la provincia de Tucumán;

- Calchaquí, ubicado en las Cumbres Calchaquíes, a lo largo de la quebrada de Amaicha, también en la porción NO de Tucumán.
- Ancasti-brl (berilo), en la sierra del mismo nombre, sector SE de la provincia de Catamarca;
- Sierra Brava, ubicado en la sierra homónima en la porción SE de la provincia de La Rioja, y
- Velasco, en la sierra homónima, hacia el centro-este de la provincia de La Rioja.

Los cuerpos han sido explotados por berilo, especialmente durante principios y mediados del siglo pasado. Más recientemente y esporádicamente, el primer autor ha tomado conocimiento (por comunicación verbal de lugareños) de la extracción al pirquino de este mineral en su variedad heliodoro de gran interés gemológico en el distrito Velasco. No se cuentan con datos muy concretos de producción. No obstante, en el distrito Ancasti-brl, Angelelli (1984) indica que la producción de berilo habría superado las 1000 t, mientras que Acosta *et al.* (1988) indican para este mismo distrito recursos de más de 300.000 t con leyes de berilo estimativamente del 0,5% para las zonas intermedias de los cuerpos.

Herrera (1965) efectúa un estudio detallado de la estructura interna y metalogénesis de las pegmatitas de berilo del distrito Ancasti-brl. A su vez, Lottner (1983) realiza un análisis tectónico del emplazamiento de los diferentes tipos de pegmatitas también en la sierra de Ancasti y su posterior deformación, que incluye en algunos casos episodios de plegamientos. Para este mismo distrito, Galliski (1999b) incluye a los grupos de pegmatitas de berilo Unquillo, Coyagasta y Corpus Yaco ubicados al norte, este y oeste de la localidad de El Alto, respectivamente, Grupo El Taco (localizado en las inmediaciones de la localidad de Ancasti) y el Grupo Santa Bárbara (ubicado al sur de la sierra) (Figura 6). Por último, los trabajos de índole local realizados en el distrito Velasco abarcan estudios de la estructura interna, mineralogía y geoquímica, entre los cuales se mencionan principalmente a Herrera (1971), Ricci (1971), Cravero (2005), Sardi (2005, 2008), Sardi y Heimann (2014) y más recientemente Sardi *et al.* (2015). Por otra parte, cabe mencionar los trabajos geoquímicos e isotópicos realizados en la roca de caja granítica de Grosse *et al.* (2009) y Dahlquist *et al.* (2010).

Geología local

Las pegmatitas de los distritos Cerro Blanco y Calchaquí están alojadas en un ambiente metamórfico, compuesto por filitas y esquistos micáceos con cordierita y estauroлита para el primero,

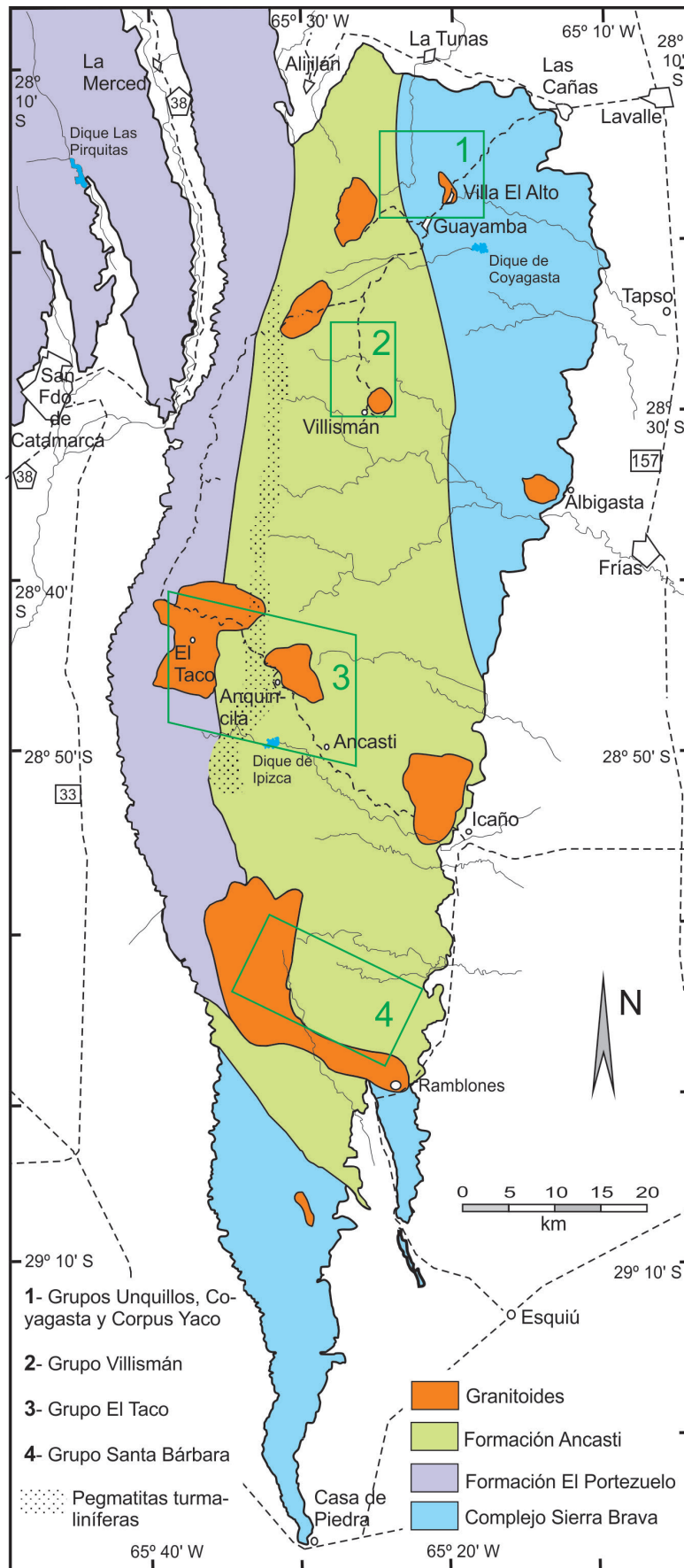


Figura 6. Mapa geológico de la sierra de Ancasti con la distribución areal de sus campos pegmatíticos.

y también en rocas migmatíticas para el segundo caso (Galliski 1994a). Un ambiente metamórfico similar domina en los distritos de Ancasti-brl y Sierra Brava.

La evolución metamórfica en la sierra de Ancasti es compleja, la cual incluye más de un episodio de deformación y metamorfismo (y anatexis) (Willner 1983, Verdecchia et al. 2013). La unidad metamórfica de mayor desarrollo en la parte central de la sierra corresponde a esquistos bandeados con intercalaciones lentiformes de micacitas cuaríferas definida como Formación Ancasti (Aceñolaza y Toselli 1977). Los escasos cuerpos ígneos que intruyen a las metamorfitas de la sierra de Ancasti poseen composiciones predominantemente graníticas (Cisterna 2003, Dahlquist et al. 2011, 2012, Ryziuk et al. 2014). El magmatismo tuvo lugar entre el Cámbrico superior y el Carbonífero inferior de acuerdo a dataciones radimétricas de Toselli et al. (1983, 2011) y tuvo un climax durante el Ordovícico (Knüver 1983). Por otro lado, las rocas dominantes en el distrito Sierra Brava son esquistos micáceos y migmatitas que llevan el mismo nombre (Coira y Koukharsky 1970), que se consideran similares a las aflorantes en el sur de la sierra de Ancasti dentro de un cinturón metamórfico de baja presión y alta temperatura.

Un ambiente distinto para las pegmatitas berilíferas lo constituye el distrito Velasco, ya que son pegmatitas intragraníticas emplazadas mayoritariamente en los granitos carboníferos Huaco y Sanagasta, y un pequeño stock también de la misma edad y altamente evolucionado, denominado La Chinchilla. El Granito Huaco es porfiroide con megacrístales de microclino, al igual que el Granito Sanagasta, pero este último muestra frecuentemente textura tipo rapakiwi. El stock La Chinchilla es de composición monzogranítica e intruye al Granito Huaco. Geoquímicamente son granitos peraluminosos, ricos en SiO_2 y álcalis, especialmente en K_2O . Estudios geoquímicos de roca total y química mineral, y también isotópicos, indican que estos granitos tienen afinidad con granitos de tipo A (Grosse et al. 2009, Dahlquist et al. 2010).

Pegmatitas

Roca de caja y relación de campo. La mayoría de las pegmatitas tienen contacto neto con sus respectivas rocas de caja, y en algunos casos del distrito Calchaquí y Sierra Brava se ha reportado un carácter discordante (Galliski 1994a y 1999c, respectivamente).

Las pegmatitas del distrito Ancasti-brl también intruyen concordantemente a rocas de caja

metamórficas, y más raramente a granitos como en la zona de La Pampa-Unquillo (Lottner 1983) y de La Majada (Battich y Cisterna 2016). Algunas pegmatitas de este distrito que se corresponderían a priori con edades paleozoicas inferior muestran fuerte grado de deformación y fracturación (Barber et al. 1994, Cisterna et al. 2016).

Según Ricci (1971) habría más de 60 cuerpos de pegmatitas conformando el distrito Velasco (Figura 7), teniendo el Granito Huaco mayor cantidad de pegmatitas que el Granito Sanagasta. Sardi et al. (2010) reconocen una litofacies del Granito Huaco en las adyacencias a las pegmatitas caracterizado petrográficamente por una menor cantidad y menor tamaño de megacrístales de microclino y un decrecimiento de la relación biotita/muscovita con respecto a la facies regional porfírica principal. Geoquímicamente, esta facies adyacente a las pegmatitas presenta bajos contenidos de Ti, Fe y Mg consistente con la cristalización fraccionada de biotita.

Morfología y dimensiones. Las pegmatitas con roca de caja metamórfica tienen forma predominantemente tabular, con algunos pocos ejemplos de formas lenticulares y globulares en el distrito Ancasti-brl (Herrera 1964, Acosta et al. 1988), mientras que aquellas que son intragraníticas son de forma sub-circular (distrito Velasco). Para las del primer grupo, tanto la corrida como el espesor son variables; las mayores dimensiones de estos dos parámetros se registran en el distrito Ancasti-brl, pero no sobrepasan los 500-600 m y 25-30 m, respectivamente (Acosta et al. 1988, Barber et al. 1994). La relación del eje mayor/eje menor para las pegmatitas intragraníticas del distrito Velasco es variable entre aproximadamente 1 y 4,7 (Sardi et al. 2015) y los ejes mayores, de rumbos aleatorios, no sobrepasan los 140 m (Ricci 1971, Sardi et al. 2015). El rumbo de las pegmatitas con caja metamórfica dentro de un mismo distrito es variable, aunque en general, tienen buzamiento vertical a subvertical.

Estructura interna. En muchos casos, los cuerpos presentan zonación, simple y más o menos simétrica, aunque a veces esta zonación está poco definida, como en algunas pegmatitas del distrito Cerro Blanco (Galliski 1994a). La estructura interna contiene generalmente 3 a 4 zonas las cuales presentan contactos transicionales entre ellas y desde las partes más externas a las más internas se caracterizan por un aumento en el tamaño de grano. Ellas son: *borde*, compuesta por aplita de grano muy fino a fino; *externa*, formada por un granito equigranular, generalmente félsico, con

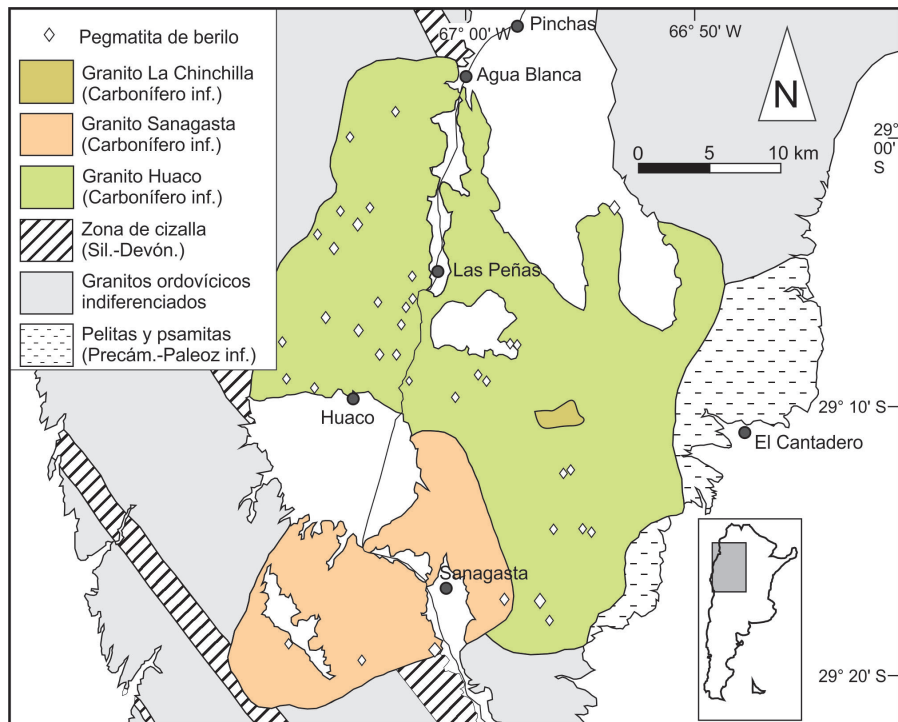


Figura 7. Mapa geológico del distrito Velasco. Modificado de Grosse *et al.* (2009) y Sardi y Heimann (2014).

tamaño de grano medio a grueso (a veces muy grueso); *intermedia*, compuesta por megacristales (o bloques) de feldespatos (generalmente microclino peritítico, en menor medida plagioclasa ácida) y cuarzo con el desarrollo de texturas gráficas en muchos casos, y un *núcleo*, compuesto esencialmente de cuarzo. El cuarzo en esta última zona es de color rosado en muchas pegmatitas del distrito Ancasti-brl (Acosta *et al.* 1988) y en algunas pocas del distrito Velasco (Sardi *et al.* 2015).

Mineralogía. Los minerales accesorios de las pegmatitas del distrito Cerro Blanco son biotita, muscovita, berilo, turmalina y granate, mientras que hacia el sur de este distrito, aparecen pequeños cristales de andalucita (Galliski 1994a). Para el distrito Calchaquí, Galliski (1994a) señala la presencia de berilo en pequeños cristales de color verde azulado, topacio y pirita.

En el distrito Ancasti-brl, el berilo está acompañado de turmalina, escasa biotita, apatita, granate y muscovita (Galliski 1999b, Lottner 1983). Herrera (1964) y Barber *et al.* (1994) agregan a este listado triplita y tantalita, respectivamente, mientras que Battich y Cisterna (2016) mencionan lepidolita en una pegmatita con berilo de La Majada. La mayor parte del berilo se encuentra en el borde interno de la zona intermedia, en el contacto con el núcleo y también dentro de éste (Acosta *et al.* 1988). Aparece en individuos prismáticos hexagonales, imperfec-

tos en detalle y de dimensiones variables (Acosta *et al.* 1988), siendo los colores predominantes el verde, azul, amarillo claro y blanco. Un ejemplar de la pegmatita Juan J. Córdoba ha registrado un diámetro de 30 cm (Angelelli 1984).

Los minerales accesorios más frecuentes en las pegmatitas del distrito Sierra Brava son muscovita y biotita, con berilo y apatita en mucho menor grado (Galliski 1999c). El primero es verdoso a azulado y ocurre en prismas centimétricos, mientras que el segundo aparece en cristales pequeños.

Por último, en la zona de borde de las pegmatitas del distrito Velasco, Sardi *et al.* (2015) han registrado la presencia de muscovita, escasa biotita, apatita, circón, monacita, fluorita, ilmenita, rutilo, pirita, calcopirita y torita. Los minerales accesorios de la zona intermedia son muscovita, escasa biotita (muchas veces ausente), berilo en tres variedades principales, verde, amarillo y aguamarina, estos dos últimos con calidad gemológica (Sardi 2008; Figura 8), triplita (Sardi *et al.* 2008), F-apatito (Sardi *et al.* 2006), granate y turmalina. El espodumeno es mencionado por Ricci (1971), Morteani *et al.* (1995) y Cravero (2005). El primero y el último de los autores nombrados también mencionan la presencia de columbita-tantalita.

Química mineral. Un análisis de granate de una pegmatita del distrito Ancasti-brl muestra composición $\text{Alm}_{51} \text{Spes}_{46} \text{Pyr}_2 \text{Gros}_1$ de acuerdo a Lott-

ner (1983). A diferencia con los otros distritos berilíferos, el distrito Velasco cuenta con numerosos estudios sobre química mineral específicamente en feldespato potásico y muscovita (Sardi y Lozano Fernández 2010) y berilo (Sardi y Heimann 2014) procedentes de las zonas intermedias de los cuerpos. Los resultados en feldespatos potásicos muestran valores de K_2O , P_2O_5 y Na_2O entre 10,87 y 12,07%, 0,11 y 0,36% y 2,41 y 4,76%, respectivamente, y en cuanto a elementos traza se observan fluctuaciones entre 858-1.378 ppm de Rb, 21-62 ppm de Cs y relaciones de K/Rb de 73 a 113 (Sardi y Lozano Fernández 2010). Las muscovitas extraídas de las zonas intermedias muestran valores entre 10,00 y 10,47% de K_2O , 1.661 y 2.288 ppm de Rb, y 596 y 869 ppm de Li (Sardi y Lozano Fernández 2010). Estos resultados estarían acordes con las composiciones de feldespatos potásicos y muscovitas de similares pegmatitas del país y del mundo.

La composición química y cristaloquímica de las variedades de berilo (verde, amarillo y aguamarina) de las pegmatitas del distrito Velasco ha sido estudiada por Sardi y Heimann (2014). Los resultados indican que un incremento en Li y Cs y un decrecimiento en la relación Na/Li en el orden berilo verde-berilo amarillo-aguamarina es indicativo que los primeros se formarían en etapas tempranas de la cristalización de las pegmatitas mientras que los dos restantes se habrían formado a partir de fluidos más evolucionados en etapas tardías. Por otro lado, el contenido de Cr dentro de pegmatitas individuales decrece en el orden berilo verde-berilo

lo amarillo, y berilo verde-aguamarina, con lo que el Cr sería un elemento cromóforo importante para los berilos verdes en concordancia a lo señalado por Černý (2002). La poca variación en los ejes a y c estaría reflejando una incorporación muy limitada de Li, Na y Cs en la estructura del mineral.

Geocronología. En el distrito Ancasti, los estudios geocronológicos de Galliski y Linares (1999) con metodología K-Ar muestran edades muy variables pero con mayor frecuencia edades famatinianas, en concordancia con las observaciones de Lottner (1983) y Barber *et al.* (1994).

Tres isocronas Rb-Sr realizadas con diferentes minerales (microclino, albita, muscovita) de una pegmatita del distrito Velasco cuyos valores extremos son 312-331 Ma y relaciones iniciales de Sr entre 0,712-0,718 (Sardi y Fuenlabrada Pérez, inédito) tienen concordancia temporal y petrogenética con los granitos carboníferos de Huaco y Sanagasta (Grosse *et al.* 2009) que constituyen la roca de caja de las pegmatitas del distrito.

Tipología. En general, las pegmatitas berilíferas tratadas en esta sección pertenecen a la clase Elementos Raros (REL) y subclase REL-Li, tipo berilo de la clasificación de Černý y Ercit (2005). Sin embargo, las pegmatitas del distrito Sierra Brava podrían ser consideradas como intermedias entre la clase Muscovita (MS) y clase Elementos Raros (REL) con la nomenclatura resultante MSREL (Galliski 1999c). Las pegmatitas emplazadas en ambientes predominantemente metamórficos tales como las de los distritos Cerro Blanco, Calchaquí, Ancasti-brl y Sierra Brava tienen escasos estudios (o nulos) que las vinculen genéticamente con sus granitos parentales asociados al distrito. Según Lottner (1983), debido a elevados contenidos de Li y Be, el granito altamente diferenciado Los Mudaderos, ubicado en el sector NO de la sierra de Ancasti, podría ser roca parental de las pegmatitas de las inmediaciones. De acuerdo a trabajos petrológicos se infiere que estos granitos fértiles corresponderían a granitos orogénicos desarrollados durante el ciclo Famatiniano, especialmente del Ordovícico inferior y medio (Galliski 2009), y en consecuencia este autor los ha denominado como ‘campos pegmatíticos orogénicos’.

Contrariamente, el distrito Velasco ha sido denominado como ‘campo pegmatítico post-orogénico’ por Galliski (2009) por la presencia de granitos de ese carácter tectónico en el distrito (Grosse *et al.* 2009) y con los que tendrían relación genética las pegmatitas (Sardi *et al.* 2010), clasificados como típicos granitos de afinidad A (Dahlquist *et al.* 2010).

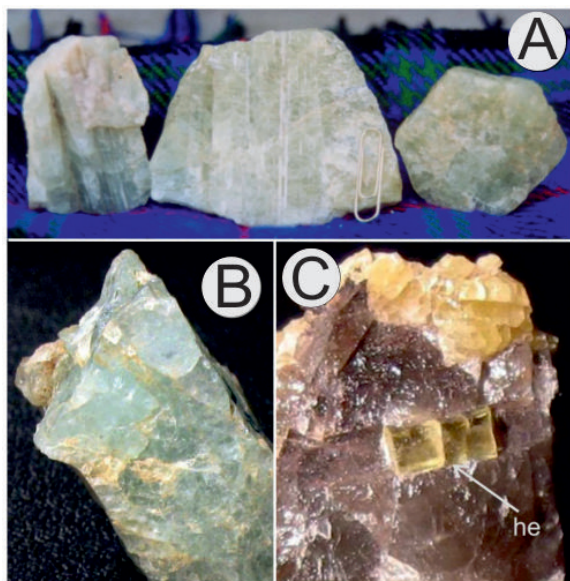


Figura 8. Fotografías de berilo de las pegmatitas del distrito Velasco (tomadas de Sardi 2008). **A)** Berilos verdes de tonalidades claras, pegmatita El Bolsoncito. **B)** Aguamarina, pegmatita El Principio (ancho de la imagen 5 cm). **C)** Berilos amarillos, con un ejemplo de variedad heliodoro (he), pegmatita Diadema Riojana (ancho de la imagen 5 cm).

En cuanto a la clasificación de Černý y Ercit (2005) de actual vigencia, el distrito Velasco, al igual que los anteriormente tratados, pertenece a la clase de Elementos Raros (REL), tipo berilo, sub-tipo berilo-columbita-fosfato (Galliski 1994a, Sardi y Grosse 2005, Sardi *et al.* 2015). Sardi y Lozano Fernández (2010) a base de la composición de elementos traza en feldespatos potásicos de la zona intermedia de algunas pegmatitas, sostienen esta clasificación. La familia petrogenética ha sido asignada como híbrida NYF-LCT por Galliski (1994a y b). No obstante, la afinidad de granito tipo A de la roca de caja, presencia de minerales de REE y F tanto en el granito como en la zona de borde de las pegmatitas (Sardi *et al.* 2015), y además el pobre contenido de Li y Cs, indicarían que este distrito se correspondería típicamente a una familia enteramente NYF.

Breve reseña pegmatogenética. La posición del cuerpo con respecto a la roca de caja, su extensión y principalmente la forma de las pegmatitas están controladas por varios factores tales como presión de fluido, estado reológico de la roca de caja, presión litostática y estructura anisótropa de la roca de caja (Brisbin 1986). La forma tabular de las pegmatitas que generalmente corresponden a las que están emplazadas en ambiente metamórfico tales como las del distrito Cerro Blanco, Calchaquí, Ancasti-brl y Sierra Brava sería el resultado de condiciones frágiles en el ámbito de la corteza superior con condiciones de presión dirigida combinado con una estructura anisótropa de la roca de caja tales como fracturas, clivaje o esquistosidad (Brisbin 1986). Contrariamente, la forma sub-circular y elipsoidal de las pegmatitas intragraníticas del distrito Velasco indica que se habrían emplazado en niveles más bajos de la corteza con un dominio más bien dúctil en un régimen de baja presión (Brisbin 1986).

La estructura interna zonada de los cuerpos responde a una secuencia progresiva de cristalización primaria dentro de la cavidad pegmatítica (e.g. Cameron *et al.* 1949, Černý 1991, Stilling *et al.* 1996). El enfriamiento del fundido pegmatítico sobre las paredes de la roca de caja más fría desarrolla principalmente rocas aplíticas de grano fino (Jahns y Burmham 1969, London 2008). Los fluidos remanentes finales generalmente producen un metasomatismo sódico afectando principalmente a microclino con diferentes grados de intensidad. Este fenómeno ocurre en forma incipiente en las pegmatitas del distrito Velasco (Sardi *et al.* 2015) y en algunos casos de las pegmatitas de Ancasti-brl (e.g. Herrera 1971).

Evensen *et al.* (1999) consideran la temperatura, la actividad de alúmina y sílice y la presencia de volátiles como reguladores de la precipitación de berilo a partir de fundidos pegmatíticos.

PEGMATITAS ESPODUMÉNICAS (-LEPIDOLÍTICAS) Y COLUMBITA-TANTALÍTICAS

Las pegmatitas portadoras de espodumeno en la región NOA, de norte a sur, corresponden a las del distrito El Quemado ubicado en la sierra de Cachi hacia el oeste de la provincia de Salta y del distrito Ancasti-spdl en la sierra homónima en el sector sureste de la provincia de Catamarca. En el distrito El Quemado, además de espodumeno como mineral accesorio importante, Galliski (1994a) menciona también la presencia de lepidolita y tantalita-columbita. Estas pegmatitas portadoras de minerales de Ta y Bi (Galliski 1999d, Galliski y Lomniczi de Upton 1993) fueron objeto de explotación en décadas pasadas.

En el distrito Ancasti, Galliski (1999b) reconoce dos grupos litíferos: Villismán y El Taco, ambos en las inmediaciones de las localidades homónimas respectivas.

El primer registro estadístico de producción de minerales de litio en la provincia de Catamarca es de 1959, con 4 t extraídas, pero la producción en forma continua solamente se inició en el año 1963 hasta 1979, donde culminó. La mina Reflejos de Mar, ubicada a unos 3 km al norte de la localidad de Villismán, es de la que mayor tonelaje de espodumeno se ha extraído, unas 1.000 t en los primeros años de explotación. Las tareas de explotación se han llevado de forma manual, con una recuperación en mina estimada en un 15% (Acosta *et al.* 1988).

Geología local

La geología local del distrito Ancasti ha sido desarrollada en el capítulo anterior referido a las pegmatitas berilíferas del mismo distrito (Figura 6). El ambiente geológico del distrito El Quemado está representado por una secuencia epimetamórfica (Formación Puncoviscana, Turner 1960) constituida por pizarras y grauvacas grises claras a oscuras atribuida al Precámbrico-Paleozoico inferior. Esta Formación es intruída por un conjunto de plutonitas epizonales graníticas reconocida como Formación Cachi (Galliski 1983a, Galliski *et al.* 1990) con la cual estarían relacionadas las pegmatitas. Una serie de metamorfitas de contacto se reconoce como Formación Paya (Galliski 1983a).

Pegmatitas

Roca de caja y relación de campo. Tanto las pegmatitas del distrito El Quemado como el de Ancasti-spdl se emplazan esencialmente en ambientes metamórficos en posición concordante (a veces discordante) con la estructura principal de la roca de caja y en contacto neto. Algunos pocos cuerpos del distrito El Quemado se alojan en trondhjemitas (Galliski 1983b, 1999d).

En algunos casos del distrito Ancasti-spdl (pegmatita Reflejos de Mar) se han observado fenómenos de turmalización en el contacto con la roca de caja metamórfica. Similar alteración, conjuntamente con procesos de silicificación, se ha registrado en pegmatitas de El Quemado (Galliski 1983b).

El rumbo predominante de las pegmatitas de El Quemado es NO-SE y buzamiento al SO, mientras que las de Ancasti acusan por lo general rumbo meridional y buzamiento vertical a subvertical hacia el E (Sardi et al. 2013).

Morfología y dimensiones. La forma tabular en ambos distritos es la más común; se registran algunas de forma lenticular en el distrito Ancasti-spdl. La corrida es pocos cientos de metros y potencias variables no superiores a 4-5 m; Galliski (1983b) reconoce espesores de hasta 30 m y corridas de hasta 800 m en pegmatitas del distrito El Quemado.

Estructura interna. En general, la estructura interna de los cuerpos está bien desarrollada, con zonación de 4 a 5 zonas, presentando además unidades de relleno y unidades de reemplazo (Fernández Lima et al. 1972, Galliski 1983b, Acosta et al. 1988). Sardi et al. (2013) determinaron en el distrito Ancasti-spdl que el contacto entre las zonas es transicional y la granulometría adquiere un sucesivo aumento desde las partes más externas a las más internas del cuerpo. En este sentido, las zonas reconocidas son: *borde*, de textura aplítica; *externa*, equigranular de grano grueso a muy grueso, e *intermedia* formada por megacristales que pueden alcanzar un metro de longitud. El núcleo de composición esencialmente cuarzoso, no siempre está representado.

Mineralogía. En el distrito El Quemado, Galliski (1983b) ha identificado numerosas especies. Además de los minerales esenciales (microclino, albita, cuarzo), este autor menciona la presencia de muscovita, biotita, berilo en cantidades no llamativas, espodumeno con proporción de hasta un 30% con cristales de 15 x 5 x 1,5 cm, columbita-tantalita en 'nidos' o bolsones y en forma diseminada en individuos de 3-4 mm; bismutinita, bismuto y bis-

mutita en guías de cuarzo o en núcleos envueltos en mica, lepidolita, y otros. Se agregan además, turmalina, granate y fosfatos (triplita, apatita, brasilianita, etc.). Finalmente, cabe señalar la existencia de tapiolita, microlita e ixiolita, minerales portadores de Nb y Ta, entre otros.

Los minerales esenciales de las pegmatitas del distrito Ancasti-spdl son microclino perfitico, cuarzo y plagioclasa, albita comúnmente en su variedad laminar y radiada, cleavelandita. La muscovita es muy común y la biotita es muy escasa. La presencia de circón, turmalina, apatita, rutilo, espesartina, berilo y topacio como minerales accesorios de las zonas de borde y externa ha sido registrada por Fernández Lima et al. (1972) y Acosta et al. (1988). Las zonas intermedias contienen espodumeno en cristales que pueden sobrepasar 1 m de longitud (Sardi et al. 2013) y asociado a albita (comúnmente cleavelandita); de acuerdo a varios autores (Fernández Lima et al. 1972, Acosta et al. 1988, Galliski 1999b), acompañan en menor medida apatita, berilo, granate, ambligonita, litiofilita y escasa columbita.

La Figura 9 presenta las características geológicas y mineralógicas de algunas pegmatitas espoduménicas del distrito Ancasti.

Química mineral y geocronología. Los estudios de geoquímica mineral corresponden al distrito El Quemado. A base de la composición química de minerales de Nb y Ta en pegmatitas de este distrito, Galliski y Lomniczi de Upton (1993) establecen que la tendencia de fraccionamiento de las relaciones Ta/Nb y Mn/Fe se corresponde a distritos ricos en Li, bajo una importante actividad de F.

Dataciones K/Ar sobre muscovita pegmatítica indican edades pampeanas (545 ± 15 y 564 ± 25 Ma) para el distrito de El Quemado (Galliski 1983a). Una edad un poco más joven (480 Ma) ha sido obtenida más recientemente por von Quadt y Galliski (2011) utilizando metodología U-Pb (LA-ICPMS) sobre fases del grupo de la columbita.

Tipología. Las pegmatitas de ambos distritos se corresponden con la familia petrogenética LCT según la clasificación de Černý (1991), más la actualizada de Černý y Ercit (2005). Se clasifican como clase Elementos Raros (REL), tipo Complejo, subtipo Petalita para las de El Quemado (Galliski 1999d) y tipo Albita-Espodumeno para las de Ancasti-spdl (Sardi et al. 2013). No obstante, también en el distrito El Quemado (pegmatitas Tres Tetras y El Peñón) son consideradas como pegmatitas tipo berilo, subtipo berilo-columbita-fosfato (Galliski 1999d). Los distritos El Quemado y Ancasti-spdl

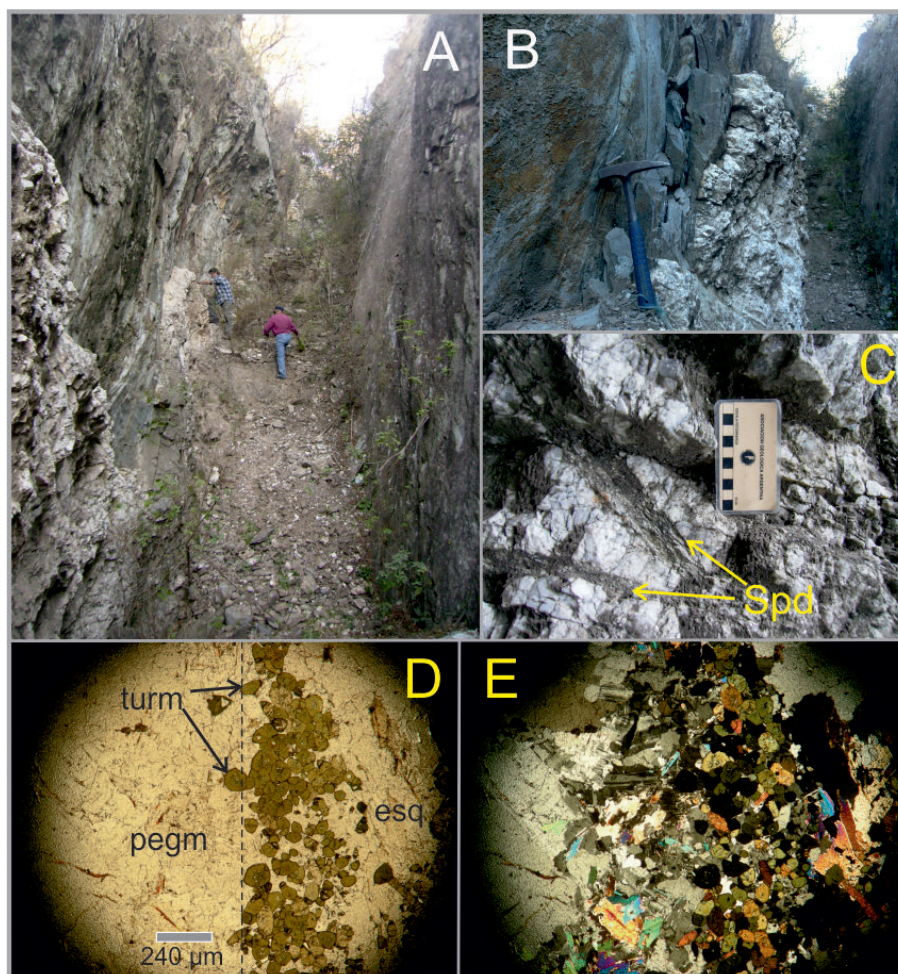


Figura 9. Grupo pegmatítico Villismán, distrito Ancasti. **A)** Labor vertical-tabular siguiendo el rumbo y morfología de la pegmatita Reflejos de Mar producto de la explotación del espodumeno en décadas pasadas. Toma de la fotografía, mediados de 2011. **B)** Sector no explotado de la pegmatita Reflejos de Mar en donde se observa contacto neto con la roca de caja de esquistos. **C)** Megacristales de espodumeno (Spd) en la zona intermedia de la pegmatita Reflejos de Mar. **D)** y **E)** Microfotografías del contacto esquisto bandeado de la Formación Ancasti (esq) y la pegmatita Reflejos de Mar (pegm), a nicoleas paralelos (imagen de la izquierda, D) y a nicoleas cruzados (imagen de la derecha, E) en el cual se aprecia acumulación de cristales idiomorfos y subidiomorfos de turmalina (turm).

se corresponderían con los ‘campos pegmatíticos orogénicos’ de acuerdo a Galliski (2009).

Breve reseña pegmatogenética. El origen de las pegmatitas de El Quemado está ligado con las cúpulas de granitos altamente especializados del magmatismo de la Formación Cachi (Galliski 1999d) atribuibles a las facies trondhjemiticas (Galliski 1983b) siendo el emplazamiento de los cuerpos predominantemente forzado, pocas veces permisivo. Estos granitos son de afinidad tipo S generados por un fraccionamiento extremo (Galliski 1999d).

Con respecto a las pegmatitas de Ancasti-sp, Lottner (1983) ha concluido que son las más jóvenes del distrito como productos diferenciados de la última actividad magmática de edad carbonífera de la sierra (Willner 1983).

PEGMATITAS MIAROLÍTICAS (INTRAGRANÍTICAS)

Las pegmatitas miarolíticas constituyen una clase separada dentro de las familias petrogenéticas delineadas por Černý y Ercit (2005) y se caracterizan por la presencia de cavidades huecas (o rellenas de argilominerales) tapizadas de cristales.

En Argentina hay tres distritos reconocidos hasta el momento: Papachacra (Catamarca), La Chinchilla (La Rioja) y Serrezuela (Córdoba). La presencia de numerosos plutones dispersos en Sierras Pampeanas con características similares a los parentales de estas pegmatitas (especialmente granitos de tipo A) sugiere que pueden estar bastante más extendidas de lo reconocido hasta el momento.

Las pegmatitas miarolíticas de Serrezuela, de afinidad LCT, están fuera del área comprendida en este relatorio, por lo que no serán consideradas. El lector interesado puede encontrar información en Gómez y Lira (1994), Gómez y Martínez (1997, 1999) y Lira *et al.* (1999).

Pegmatitas miarolíticas del Granito El Portezuelo (Papachacra)

En esta sección se describirá la geología y mineralogía de las pegmatitas miarolíticas relacionadas al granito de tipo A El Portezuelo, en la provincia de Catamarca. Si bien no están comprendidas dentro de esta revisión (debido a la ausencia de un estudio sistemático), las pegmatitas del Granito Altohuasi (distante unos 15 km al S de El Portezuelo) comparten similares características geológicas, mineralógicas y de yacencia.

El Granito El Portezuelo, parental de las pegmatitas descriptas, se encuentra en el departamento Belén, en la zona centro-oeste de la provincia de Catamarca. Si bien la zona es reconocida por sus manifestaciones metalíferas, se ha prestado poca atención a los minerales pegmatíticos, los cuales han sido encontrados esporádicamente y nunca motivaron una explotación sistemática. Kuck y Saadi (1998a) mencionan que un español llamado J. Citoler, quien vivía en Belén cerca de 1920, halló las primeras muestras de topacio bien cristalizado, aunque el descubrimiento no tuvo trascendencia y fue conocido solamente por las personas allegadas a él. Ávila y Papetti (1984) informan que en la cima del cerro El Áspero se encuentran cuatro pegmatitas pequeñas que han sido rudimentariamente explotadas mediante trincheras de poca profundidad; éstas podrían corresponder a la mina La Preciosa Argentina, aunque en el registro minero figura más al norte. Según los pobladores de la zona, ésta sería la fuente de las muestras de Citoler. En 1987, basándose en datos aislados, un grupo de prospectores emprendió una búsqueda más organizada de yacimientos portadores de topacio, solicitando luego un permiso de cateo de aproximadamente 200 km². La primera propiedad registrada fue la mina Rumi Tucu, en 1991, mientras que las restantes fueron concedidas y registradas en los años 1998 y 1999. Además de la mencionada arriba, los nombres de otras propiedades mineras (pedidas hasta 2003) son Huayra Huasi, La Yunta, La Huayra Huasi II, La Huayra Huasi III, La Huayra Huasi IV y Alfatah. Todas las minas fueron denunciadas por cuarzo y feldespatos, con excepción de Alfatah que fue denunciada por topacio y cuarzo.

Los minerales pegmatíticos son recolectados para su venta en el mercado coleccionístico. Debido a que las miarolas están dispersas en una amplia zona, no hay labores mineras de importancia y lo que se hace es recoger las muestras de miarolas ya expuestas por la erosión. El único lugar donde se emplearon explosivos fue en la mina Rumi Tucu, situada en el extremo sur del cuerpo El Portezuelo.

La mayor parte de las muestras tiene un recubrimiento de hidróxidos de hierro y arcillas, removido por lavado y tratamiento químico.

Los primeros trabajos geológicos que incluyen la zona son de índole regional (Turner 1962, 1973). Posteriormente aparecen publicaciones y una tesis doctoral inédita enfocadas en el área de Papachacra, con énfasis en la petrología de los granitoides (Ávila y Papetti 1984, García y Rosello 1984, Lazarte 1987, 1991, 1994, Rosello *et al.* 2000, Colombo 2008a, Colombo *et al.* 2005a, 2010a), en algunas de las rocas encajonantes (García 1974, García *et al.* 1981, Lazarte 1992) y en manifestaciones mineralizadas (García 1981, García *et al.* 1982, Ávila y Porto 1982, Ávila y Papetti 1984, García y Rosello 1984, Ávila *et al.* 1987, 1999, Lazarte 1991, 2002, Ávila 1992, Peralta *et al.* 1995). Los trabajos que tratan sobre las pegmatitas o sus minerales son más escasos (Menzies 1995, Kuck y Saadi 1998 a, b, Colombo 2004, 2006, 2008b, Colombo *et al.* 2005b, 2009, 2010b, 2011a, b, c).

Geología Local. La zona se encuentra dentro de la provincia geológica Sierras Pampeanas Orientales, cerca del límite con las Sierras Pampeanas Occidentales y la Puna. En el área de estudio, en orden cronológico, afloran la Formación Loma Corral (metapelitas de bajo grado con intercalaciones de rocas básicas y mármoles), el Ortogneis Chango Real, el Granito Papachacra (plutón El Portezuelo), una serie de intrusivos granitoides alcalinos, y sedimentitas del Grupo El Bolsón (probablemente la Formación El Cajón), con una cubierta de potencia variable de sedimentos actuales (Figura 10).

En los alrededores del poblado de Papachacra se reconocen varios tipos diferentes de rocas graníticas (en sentido amplio), que pueden agruparse en: A) granito biotítico *subsolvus*, con abundantes miarolas y asociado a un cortejo aplo-pegmatítico, y B) grupo de intrusivos plutónicos formado por monzonita cuarzosa, granito anfibólico, sienita alcalifeldespática y sienita cuarzosa (ambas con textura *hipersolvus*), asociadas a diques comendíticos. El primer plutón es lo que se ha llamado El Portezuelo en la literatura. Lazarte (1994) agrupa bajo el

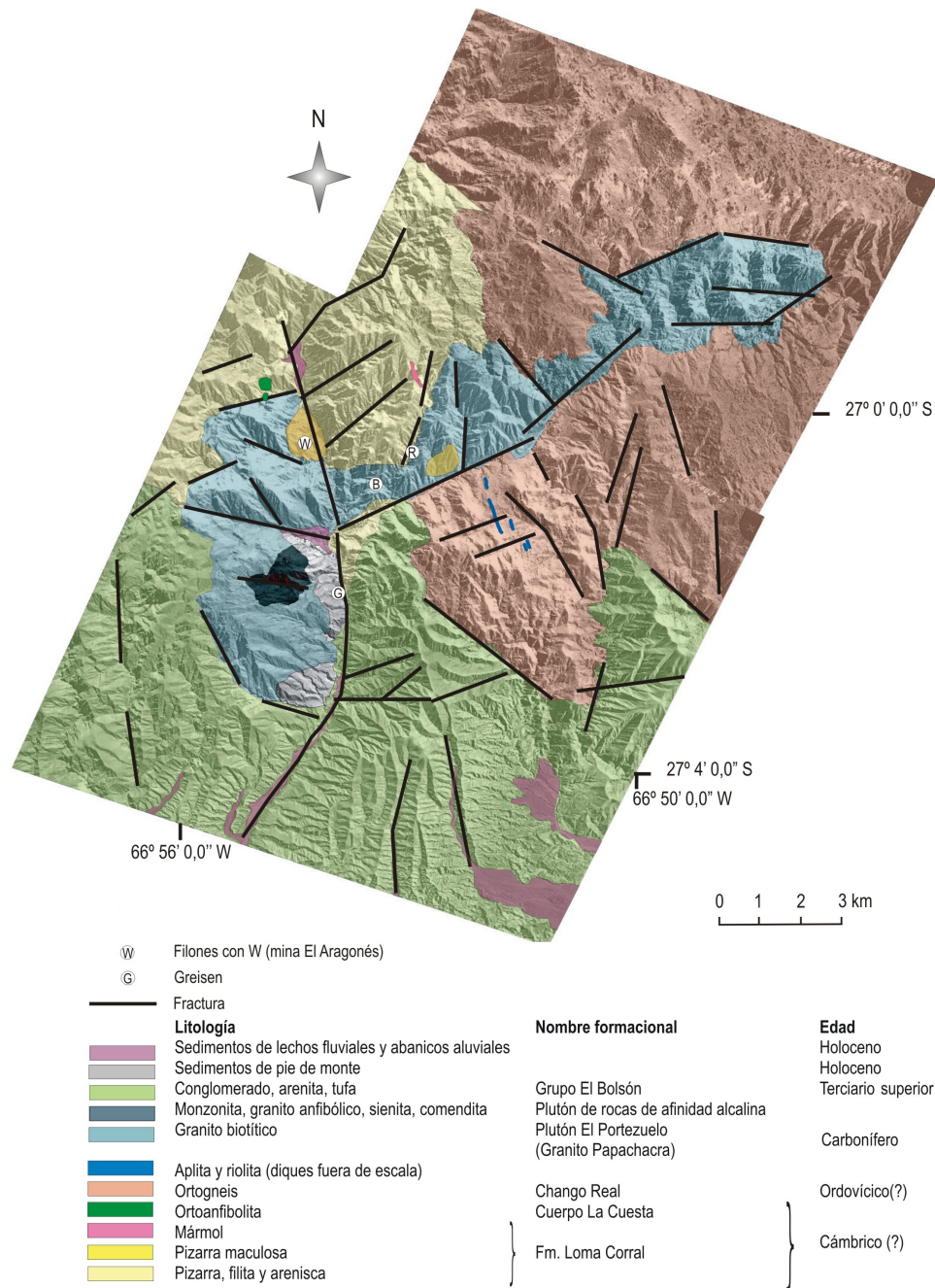


Figura 10. Mapa geológico del plutón El Portezuelo y su entorno.

nombre de Granito Papachacra a El Portezuelo y al Granito Altohuasi (aflorante en la vertiente oriental de la sierra homónima, unos 10 km al sur de El Portezuelo).

El Granito El Portezuelo es biotítico y se clasifica modalmente como sien o monzogranito (Lazarte 1991, 1994). La textura más común es equigranular, de grano fino a grueso; los fenocristales de feldespato potásico o plagioclasa son escasos. Los constituyentes principales son cuarzo, feldespato potásico ($Or \approx 0,98$, con grado de ordenamiento Al/Si variable) y plagioclasa zonada

($Ab_{87}An_{11}Or_1$ a $Ab_{99}An_0Or_1$); el mineral accesorio más abundante es la biotita (serie annita-siderofilita, con $Mg/(Mg+Fe_{total})$ entre 0,13 y 0,06). Los minerales presentes a nivel de trazas son fluorita, topacio, circón, torita, monacita-(Ce), xenotima-(Y), apatita, magnetita, ilmenita, rutilo (ocasionalmente rico en Nb), uraninita y columbita-(Fe). Los productos de alteración están representados por clorita, muscovita, cerianita-(Ce), “limonita” y óxidos complejos con Nb, Ta, U, Pb y otros elementos (Colombo 2008a). Los enclaves máficos son pequeños y poco abundantes.

Químicamente el Granito El Portezuelo se caracteriza por tener un índice de saturación de alúmina cercano a 1,00 y una variación composicional restringida. Posee alto SiO_2 ($> 75\%$) y relativamente poco Al, Fe, Ca y Ti. Es muy pobre en Mg ($< 0,06\%$ MgO) y P ($< 0,03\%$ P_2O_5). Entre los elementos traza se destaca el contenido de Nb (69-109 ppm), Th (51-89 ppm), U (9-31 ppm) y Rb (545-730 ppm), mientras que está deprimido en Sr (5-27 ppm), Ba (4-105 ppm) y Eu (0,37 a menos de 0,05 ppm). Posee una marcada anomalía negativa de Eu (Eu/Eu* entre 0,18 y 0,01), y un fraccionamiento bajo de los elementos de tierras raras, con $(\text{La/Lu})_N$ entre 2,6 y 5,2. Este granito exhibe el fraccionamiento entre elementos de tierras raras conocido como *efecto tetrad lantánido*, adjudicado a la interacción del fundido con fluidos (Irber 1999).

Estas características químicas coinciden con las de los granitos de bajo fósforo definidos por Taylor (1992) y se clasifica como un granito de tipo A aluminoso siguiendo los criterios de Collins *et al.* (1982), Whalen *et al.* (1987) y King *et al.* (1997). El ambiente de emplazamiento más probable es de intraplaca, tal como lo sugieren las relaciones entre Y, Ga, Nb y Ce (propias de un granito A_1) al aplicar los gráficos de Eby (1992).

Pegmatitas

- Roca de caja y relación de campo: con contadas excepciones, las pegmatitas en Papachacra son intragraníticas. El granito biotítico contiene numerosas miarolas y está atravesado por un cortejo de diques aplítico-pegmatíticos relacionados al mismo granito. Hay cuatro tipos de pegmatitas derivadas del granito biotítico: 1) cavidades miarolíticas con pared de textura pegmatítica (Figura 11A); 2) segregaciones redondeadas en granito con texturas heterogéneas, con sectores pegmatíticos y otros aplíticos; 3) filones primordialmente aplíticos con diferenciaciones pegmatíticas, desarrolladas paralelamente al filón y que encierran

rosarios de cavidades (Figura 11B), y 4) bolsones pegmatíticos con estructura zonal, muy escasos.

- Morfología, dimensiones y estructura interna: las cavidades miarolíticas son subredondeadas, y de dimensiones muy variables. Hay zonas del granito donde aparecen numerosas cavidades milimétricas interconectadas. Las cavidades miarolíticas más frecuentes miden entre 2 y aproximadamente 30 cm de diámetro. Están formadas por los mismos minerales que el granito encajonante, si bien el porcentaje modal de biotita es menor.

Los diques y segregaciones de textura variable entre aplítica y pegmatítica se encuentran emplazados dentro del granito o, raramente, en sus adyacencias. Las segregaciones pueden alcanzar más de 5 m de longitud por 2 m de ancho y tienen formas generalmente lenticulares. El contacto con el granito puede ser gradual o neto. La proporción de aplita a pegmatita es variable de una lente a otra, siendo en algunos casos dominante la primera y en otros la segunda; el límite entre dominios con texturas diferentes es sinuoso. Ocasionalmente se produce una alternancia entre bandas curvas con textura pegmatítica y aplítica, a veces mostrando texturas de cristalización unidireccionales o intercrecimientos gráficos de cuarzo-feldespato. Las zonas de granulometría gruesa se encuentran distribuidas irregularmente: en algunos casos forman bandas estrechas paralelas a la elongación del dique, mientras que en otros casos son lenticiformes y aparecen sin un patrón definido dentro de una masa aplítica.

Las pegmatitas con zonación bien desarrollada y sin (o casi sin) sectores aplíticos son raras. En estos cuerpos se pueden diferenciar una zona de borde de granulometría fina, una zona externa, una o dos zonas intermedias y un núcleo. La zonación no es necesariamente simétrica y puede haber sectores con minerales que muestran texturas de crecimiento unidireccional. La forma general de la pegmatita puede ser redondeada o

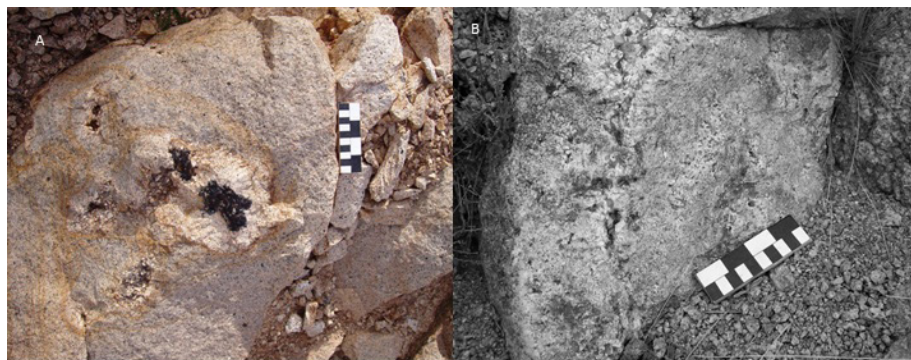


Figura 11. A) Miarolas en la mina Rumi Tucu, extremo suroccidental del Granito El Portezuelo. El centro de turmalina está rodeado de un halo leucocrático (cuarzo + microclino + albita). **B)** Filón de aplita con una zona elongada de textura pegmatítica con cavidades.

ahusada y llegan a medir aproximadamente 6 m de longitud.

- Mineralogía y química mineral: las fases esenciales de las pegmatitas son cuarzo, microclino, plagioclasa (albita) y ocasionalmente micas (siderofilita, “zinnwaldita” y muscovita). En diversas proporciones, constituyen las distintas zonas de las pegmatitas, rematando en cristales euhedrales en las cavidades sobre los que se implantan numerosas otras especies, generalmente en cristales milimétricos o menores.

El cuarzo se presenta en cristales con hábito prismático corto, ocasionalmente maclado. El color más frecuente es pardo, que varía entre casi negro y pardo amarillento (Figura 12A y B). Los cristales blancos o incoloros son menos comunes. Es frecuente la presencia de zonación concéntrica. La variedad amatista es escasa y se encuentra principalmente en el cerro La Tipa (El Portezuelo Occidental). Se presenta en cavidades, siempre como cristales prismáticos cortos rematando crecimientos en cetro, sobre una base de cuarzo blanquecino o ahumado. Es translúcida y de color violeta medio a violeta oscuro; muchos cristales muestran un color más pálido en las caras prismáticas que en los remates romboédricos (Figura 12C).

El microclino (pertítico) forma cristales individuales o maclados según las leyes de Carlsbad, Manebach o Baveno, de color blanco amarillento a rosa claro o anaranjado pálido (Figura 13). Pueden alcanzar los 18 cm de longitud. El orden de Al-Si en los sitios tetraédricos es avanzado pero no total.

La albita forma agregados de cristales tabulares incoloros, blancos a celeste pálido (Figura 14), o bien crecimientos epitácticos sobre microclino.

Las micas se presentan como láminas incluidas o bien cristales tabulares pseudo hexagonales en las cavidades, a menudo zonados concéntricamente. Una descripción detallada de las micas fue presentada por Colombo *et al.* (2010b).

Los accesorios más frecuentes son topacio, turmalina, fluorita, hematita y circón. Las pegmatitas de Papachacra proporcionan los cristales de topacio mejor desarrollados de Argentina (Figura 15), y, junto a muestras procedentes de un greisen asociado al Granito El Portezuelo, han sido objeto de varias publicaciones (Ávila y Porto 1982, Menzies 1995, Peralta *et al.* 1998, Kuck y Saadi 1998a). El tamaño más frecuente de los cristales es de entre 5 mm y 2 cm. Los colores más comunes son incoloro o amarillo claro, raramente incoloros con un tinte azul muy tenue o color amarillo más intenso, con un matiz pardusco.

Todos los cristales de Papachacra son ricos en F (entre 19,01 y 20,12%). Más detalles sobre el topacio de El Portezuelo se pueden encontrar en Colombo *et al.* (2009).

Algunos miembros del grupo de la turmalina son relativamente comunes en cavidades miarolíticas (especialmente en la zona del cerro El Áspero) o como reemplazo de biotita, albita y microclino en la zona que rodea a las miarolas. La turmalina aparece en cristales prismáticos largos a cortos, ocasionalmente tabulares. Los cristales



Figura 12. Cristales de cuarzo. Longitud: A) 3 cm. B) 8,2 cm. C) 3,4 cm.



Figura 13. Cristales de microclino, mostrando maclas de Baveno (A y B). Dimensiones: A) 5 cm de alto. B) 4,7 cm de alto. C) 5,6 cm de ancho.

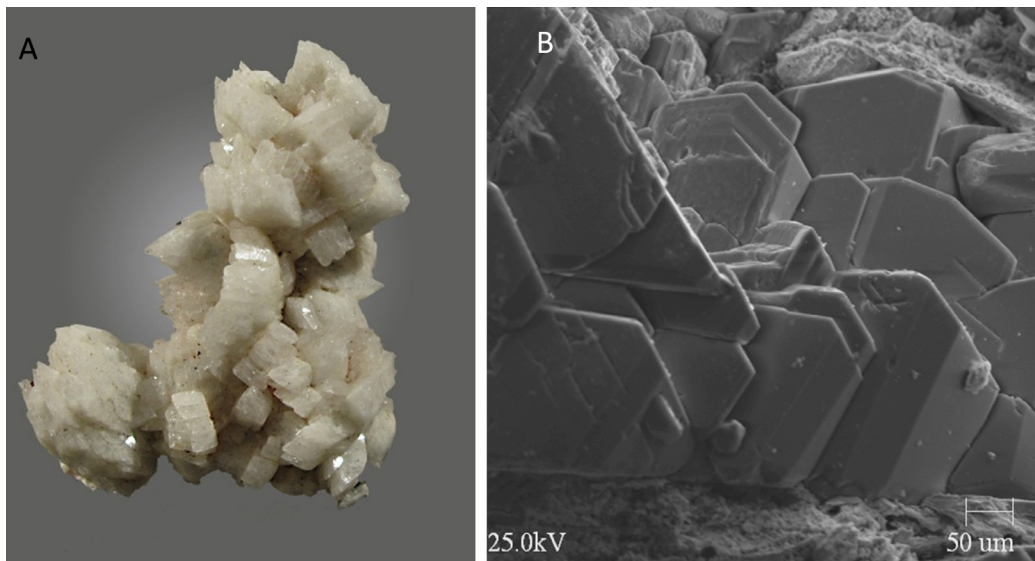


Figura 14. Cristales de albita. **A)** Grupo de 4 cm de alto. **B)** Imagen de SEM-BSE.

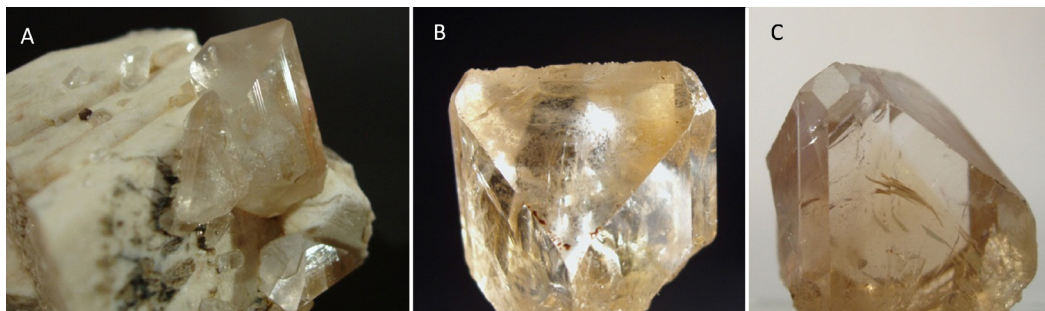


Figura 15. Cristales de topacio. Dimensiones: **A)** 1,8 cm de largo. **B)** 4 cm de alto. **C)** 5,1 cm de alto.

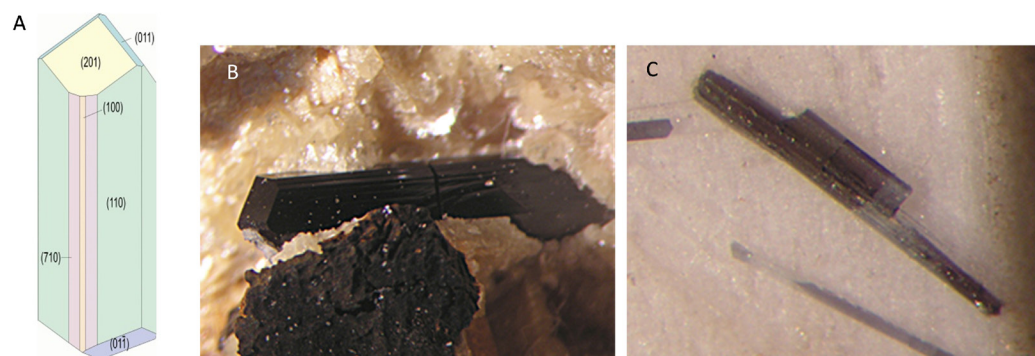


Figura 16. **A)** Cristal de turmalina mostrando las formas cristalográficas. **B)** Cristal de chorlo (4 mm de largo). **C)** Cristal de foitita (0,8 mm de largo).

generalmente son negros, pero cuando son muy finos son translúcidos en tono de pardo, verde, azul grisáceo o, excepcionalmente, casi incoloros (Figura 16). La variación composicional nunca es muy marcada ni tiene la oscilación fina descrita en otros lugares (cf. London y Manning 1995). Químicamente se clasifican como flúor-chorlo, chorlo o bien (raramente) como foitita.

El circón está muy distribuido como cristales implantados en las miarolas y también en las otras zonas de las pegmatitas miarolíticas y aplitas. Fue brevemente descrito por Kuck y Saadi (1998a);

Colombo *et al.* (2011b) presentaron un resumen de las características físicas y químicas del circón. Forma principalmente prismas cortos con las formas {110} o menos frecuentemente {100} rematados por la bipirámide {101} ó {111}. Generalmente son opacos o translúcidos y muestran diversos tonos de pardo, a veces con tinte amarillento, rosado o rojizo. Es muy frecuente que el interior de los cristales contenga numerosos poros, lo que Hoskin y Schaltegger (2003) consideran una característica de los circones de origen hidrotermal. Las inclusiones de torita son casi omnipresentes, agrupadas en ciertas

zonas o distribuidas en parches dentro del cristal. La sustitución de mayor importancia es el reemplazo de Zr por Hf; el contenido máximo medido en un circón procedente de una miarola es de 7,21% de HfO_2 , equivalente a 0,068 *apfu*.

La fluorita es muy frecuente, tanto como mineral accesorio en las aplitas y pegmatitas como en cristales dentro de cavidades. Se encuentra en cristales que llegan a superar los 10 cm, con las formas cristalográficas {100}, {111} y {210}. También se encuentran hexaquisoctaedros. Se han hallado cristales maclados según la ley de la espinela. El color varía entre incoloro, blanquecino, verde pálido, verde claro, verde azulado, celeste verdoso claro, lila a violeta oscuro o casi negro (Figura 17). Análisis de microsonda muestran que el único elemento que está presente en cantidades apreciables (además del Ca y F) es el Y, que llega a 1,77% (0,016 *apfu*).

La hematita, muy común en las miarolas, forma costras de cristales color negro grisáceo y de intenso brillo metálico; hay cristales individuales que superan los 4 cm de diámetro. Los más comunes muestran el pinacoide basal {001} y el romboedro {104}, generalmente con hábito marcadamente tabular. Otras formas menos frecuentes son los romboedros {101} y {012}. Se presenta también como cristales tabulares agrupados como los pétalos de una flor (hábito “rosa de hierro”) y en esferas de cristales radiados. Es muy frecuente que esté parcial o totalmente reemplazada por goethita.

La mineralogía de las pegmatitas de El Portezuelo incluye además varias otras especies, en cristales o masas de pequeñas dimensiones (casi siempre inferiores a 1 mm), y en general escasas. En la Figura 18 aparece el listado completo de las especies identificadas, junto con su posición paragenética. Las Figuras 19 y 20 muestran imágenes de algunos de los minerales encontrados en estas pegmatitas.

- Geocronología: Lazarte (1994), basándose en rasgos químicos y estructurales del Granito El Portezuelo, presentó la hipótesis de que integra el conjunto de granitos de tipo A carboníferos, del cual se conocen numerosos ejemplos dispersos en las Sierras Pampeanas (Dahlquist *et al.* 2010). Esto fue corroborado por Rosello *et al.* (2000), quienes presentaron edades obtenidas con el método K-Ar en varias muestras. Los valores obtenidos fueron 366 ± 14 , 337 ± 31 , 320 ± 10 y 317 ± 12 Ma (más un valor de 274 ± 10 Ma).

- Tipología: según la clasificación de Černý y Ercit (2005) las pegmatitas de Papachacra se ubican en la familia petrogenética NYF, y claramente dentro de la clase miarolítica (MI). Dentro de las subdivisiones de esta clase, la signatura geoquímica es afín con la subclase MI-REE (Miarolítica-Elementos de las Tierras Raras). La ubicación dentro de un tipo es menos clara, y como los autores afirman se conocen numerosos casos intermedios. Lo más probable es que pertenezcan al tipo gadolinita-fergusonita.



Figura 17. Cristales de fluorita. **A)** Octaedro (1,1 cm de alto). **B)** Cubos asociados a monacita-(Ce), procedentes de El Áspero (el mayor mide 5 mm de arista). **C)** Cristales cúbicos sobre cuarzo ahumado (4,5 cm de alto). **D)** Macla según la ley de la espinela (4 cm de largo). **E)** Cristales mostrando un hexaquisoctaedro (2,2 cm de lado).

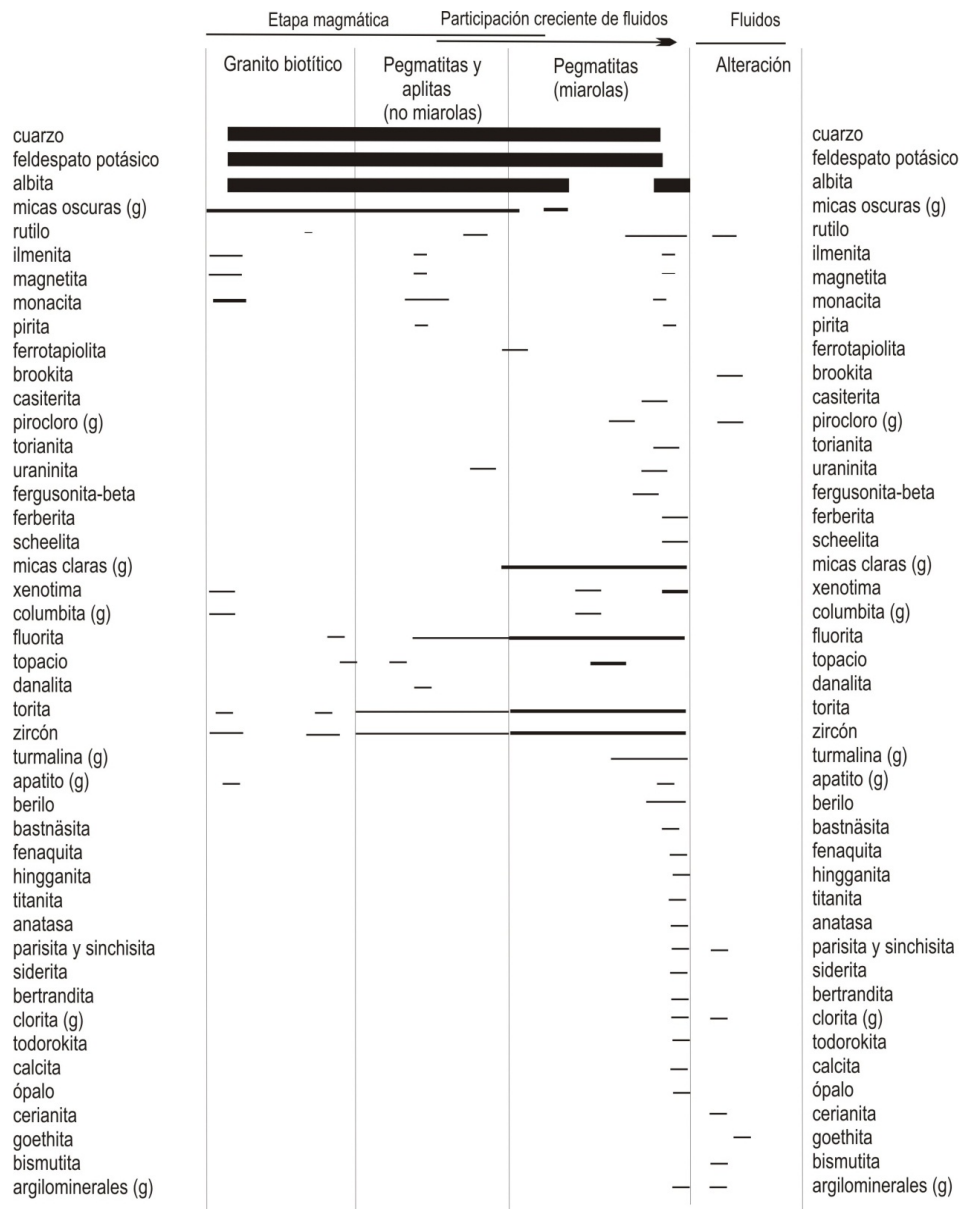


Figura 18. Relaciones paragenéticas entre las especies halladas en el granito biotítico y sus pegmatitas relacionadas en Papachacra. La letra (g) significa 'grupo'. El grosor de las líneas está relacionado a la abundancia del mineral.

- Reseña petrogenética: los contenidos de elementos traza y otros parámetros (como la anomalía de Eu) indican que el fundido que originó las aplitas no es necesariamente mucho más evolucionado que el fundido que cristalizó como granito biotítico.

En el diagrama compilado por London (1992) los porcentajes normativos de diversas muestras del granito biotítico y aplitas de El Portezuelo coinciden aproximadamente con el porcentaje normativo del fundido haplogranítico a 100 MPa, el cual tiene una temperatura de solidus de ~750°C. Swanson y Fenn (1986), London (1992) y otros autores han interpretado que tanto las aplitas como las pegmatitas se forman, al menos en parte, debido a sobreenfriamiento del fundido. Sutiles variaciones

en el quimismo del magma, temperatura y grado de sobreenfriamiento afectan la relación entre tasas de nucleación y crecimiento, determinando así si se forma una pegmatita o una aplita. La cristalización de estas últimas es favorecida por un incremento del sobreenfriamiento (Candela 1997).

La formación de cavidades miarolíticas requiere el crecimiento de burbujas durante el ascenso y descompresión del magma (proceso conocido como "primera ebullición"); la textura está bien desarrollada a bajas presiones (~200 MPa o menos). Para que se produzcan cavidades miarolíticas el fundido debe estar saturado en fluidos (Candela 1997, London 1992). Winther (1995) propuso un modelo para estimar el contenido de H₂O que

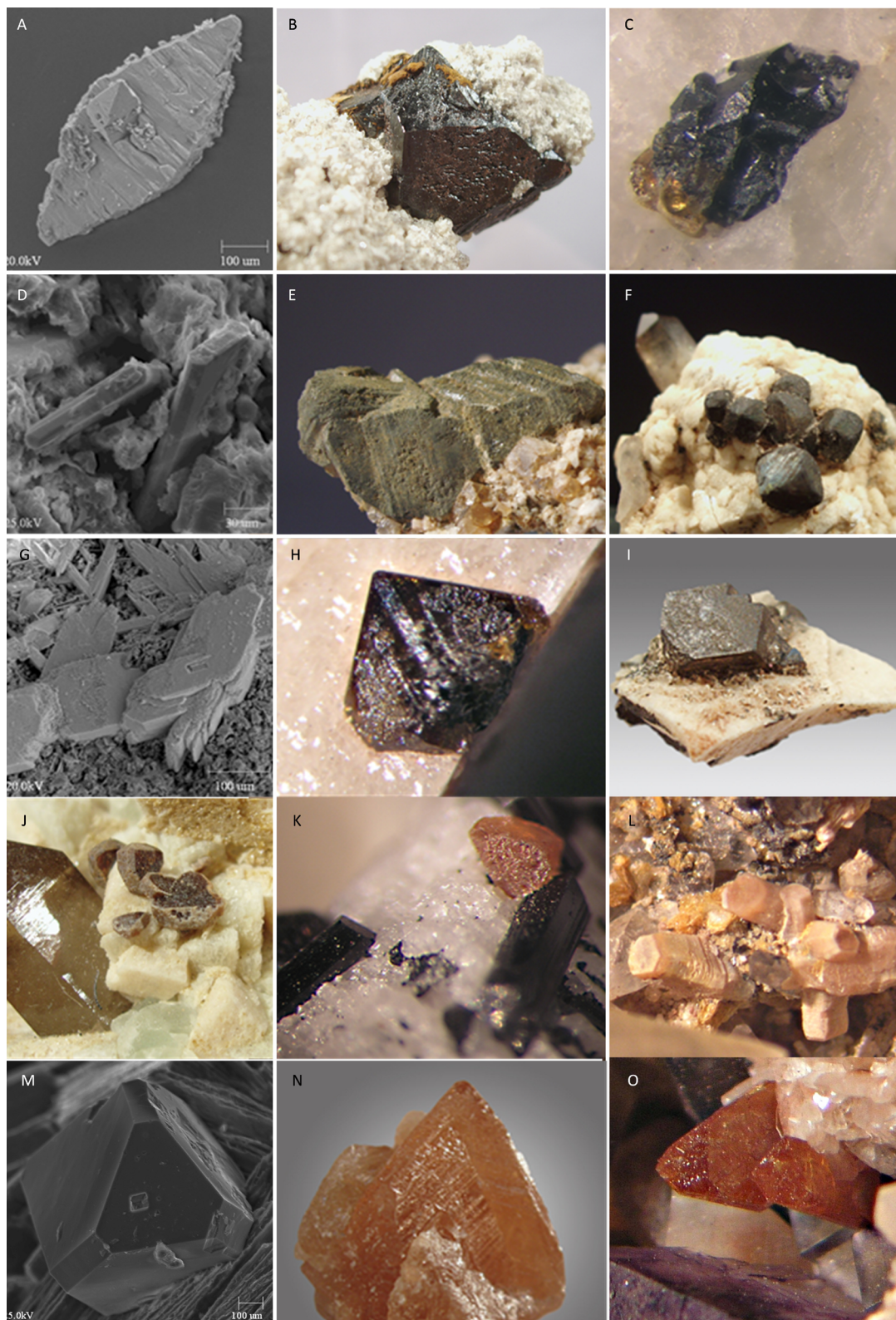


Figura 19. Imágenes de minerales encontrados en las pegmatitas de El Portezuelo. **A)** anatasa (imagen de SEM-SE). **B)** casiterita (2,8 cm). **C)** tapiolita-(Fe) asociada a un mineral del grupo de la microlita (anaranjado) (1,8 mm). **D)** cristales de columbita-(Fe) (imagen de SEM-BSE). **E)** cristales de ilmenita pseudomorfizados por una mezcla de rutilo y brookita (2 cm). **F)** cristales de magnetita de hasta 7 mm de diámetro (colección de R. Lira). **G)** cristales de rutilo mostrando maclas en codo (imagen de SEM-BSE). **H)** cristal de un mineral del grupo de la microlita (1 mm). **I)** siderita pseudomorfizada por goethita (1,8 cm). **J y K)** cristales de bastnäsita-(Ce), asociados a fluorita (foto J) y a chorlo (foto K). La base de la foto J representa ~2 cm. El cristal de K mide 0,45 mm. **L)** cristales de sinchisita-(Ce) de hasta 2 mm de largo. **M)** cristales de florencita-(Ce) sobre muscovita (imagen de SEM-SE). **N)** scheelita (2,6 cm de largo). **O)** cristales de monacita-(Ce) asociados a fluorita. Longitud del cristal mayor 1,75 mm.

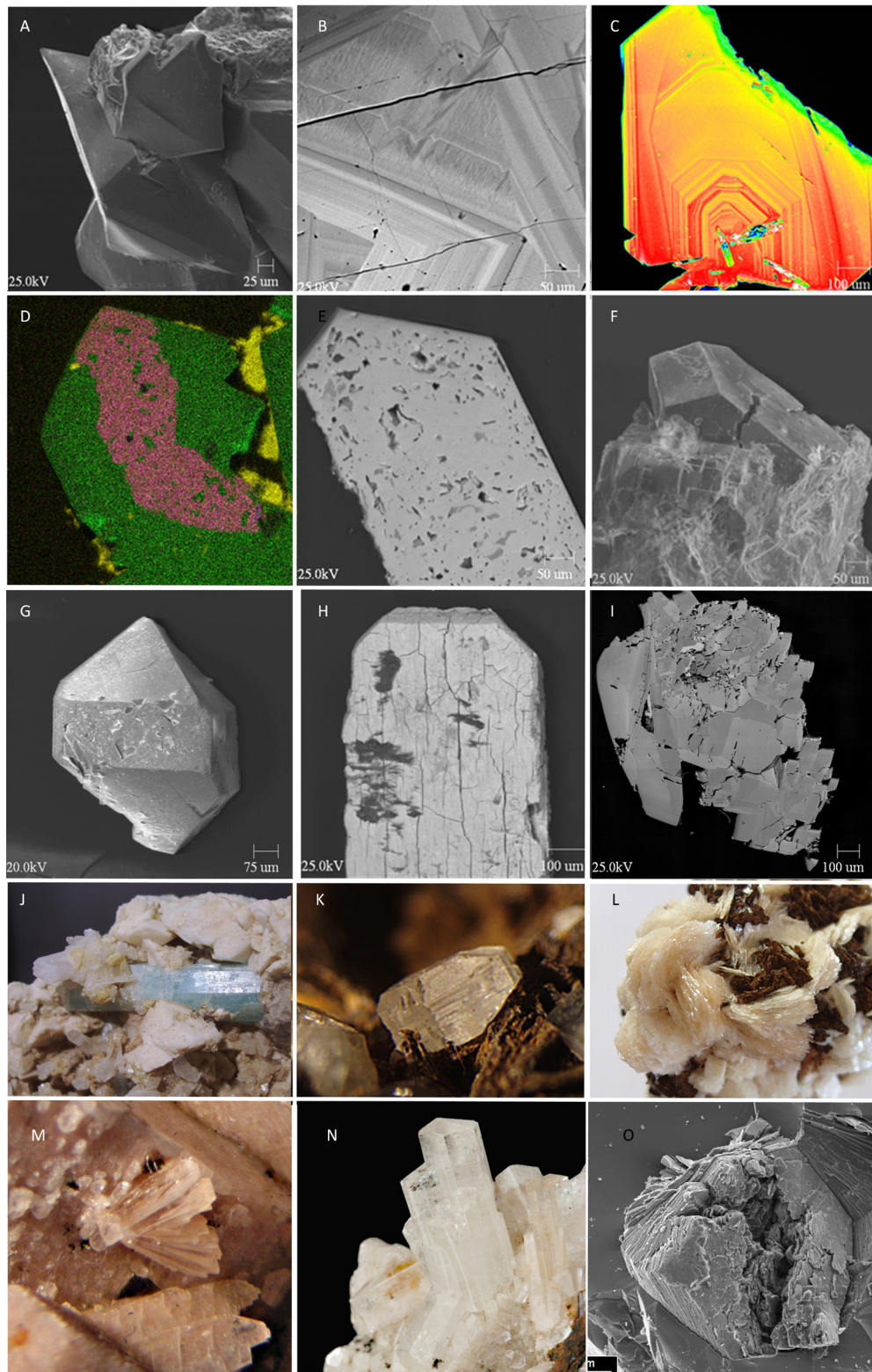


Figura 20. Imágenes de minerales encontrados en las pegmatitas de El Portezuelo. **A)** xenotima-(Y) (imagen de SEM-BSE). **B y C)** secciones pulidas de cristales de xenotima-(Y), mostrando una fina zonación composicional (imágenes de SEM-BSE). La imagen C tiene una escala térmica, donde colores más cálidos indican peso atómico promedio más elevado. **D)** combinación de varios mapas de rayos X, mostrando un núcleo de circón (violeta) corroído con crecimientos epitáxicos de xenotima-(Y) (verde). **E)** sección pulida de un cristal de circón de una miarola, mostrando numerosas vacuolas e inclusiones de xenotima-(Y) (gris ligeramente más oscuro que el circón). **F y G)** cristales de circón de miarolas (imágenes de SEM-BSE). **H)** cristal de torita (imagen de SEM-BSE). **I)** sección pulida de cristales de titanita, mostrando zonación composicional principalmente relacionada al contenido de Nb (imagen de SEM-BSE). **J)** berilo (4 cm de largo) de una pegmatita perigranítica, una de las pocas en todo el distrito. **K, L y M)** bertrandita (K: 2 mm, L: 3,7 cm, M: 6 mm). **N)** fenaquita (1,5 cm de largo, fotografía de Roberto Appiani). **O)** agregado vermiciforme de chamosita (imagen de SEM-SE).

puede disolverse en un fundido de una determinada composición. De los cálculos con las composiciones de aplitas y granitos de El Portezuelo se desprende que el % de H₂O mínimo en el fundido oscilaba entre 4,2-4,6% a 100 MPa y 5,7-6,2% a 200 MPa para composiciones graníticas, y entre 4,1-4,5 a 100 MPa y 5,7-6,0% a 200 MPa para las aplitas.

Pegmatitas miarolíticas del Granito La Chinchilla

El plutón La Chinchilla es un granito de tipo A aflorante en la sierra de Velasco, La Rioja (29° 10' 30" S - 66° 58' 00" O). Está intruido en el Granito Huaco y posee una forma aproximadamente elipsoidal, abarcando un área de poco más de 3,5 km². Su edad es de 344,5 ± 1,4 Ma (U/Pb en monacita, Grosse *et al.* 2009). Las facies dominantes son un granito equigranular y otro porfírico (Salvatore *et al.* 2013). Además de los minerales petrogenéticos que están presentes en numerosos granitos (cuarzo, feldespato potásico, plagioclasa y muscovita), La Chinchilla posee una serie de minerales accesorios menos frecuentes portadores de elementos LILE y HFSE, tales como fluorita, berilo, circón, monacita, xenotima, uranofano, torianita, columbita-(Fe), oxiuranopirocloro, fergusonita-(Y), cherlita e ilmenita (Bardelli 2014, Lira *et al.* 2015).

La información sobre las pegmatitas miarolíticas de este distrito es escasa, restringiéndose a una única publicación donde se describe amazonita (microclino verde) y algunos minerales asociados. La información que se presenta a continuación es extractada de Lira *et al.* (2015).

Las pegmatitas están relacionadas principalmente a la facies equigranular. Se encuentran dos tipos de pegmatitas: miarolas (con una transición rápida al granito parental) o bien pegmatitas lenti-formes. Las miarolas, que llegan a 3 cm de diámetro, están tapizadas de cristales de albita, feldespato potásico, muscovita ferrosa (fengita) y fluorita; la cavidad central puede estar totalmente rellena de cuarzo.

Las pegmatitas miarolíticas pueden alcanzar los 2 m de longitud; algunas de las mayores se emplazaron siguiendo un patrón de fracturación orientado N 80°, con buzamiento al SSE. La zonación está ausente o pobremente desarrollada, con zonas de borde y pared que llegan a unos cm de potencia.

Estas pegmatitas son las primeras reportadas en Argentina donde se encuentra amazonita, la cual se presenta en cristales de hasta 6 cm de longitud zonados cromáticamente (núcleo celeste pálido a verdoso y periferia blanquecina). Las muestras examinadas de La Chinchilla poseen un

grado muy avanzado de orden Al-Si; su composición es relativamente homogénea y próxima a Or₉₅Ab₅. El contenido de Pb, el cual se relaciona con el color verde, es variable incluso a pequeña escala, desde menos del límite de detección de la microsonda de electrones hasta ~630 ppm. La amazonita está afectada por albitización y muscovitización, con precipitación de microcristales de casiterita asociados a un miembro del supergrupo del pirocloro (Lira 2017 *com. pers.*).

Si bien son necesarios más estudios de detalle para una caracterización completa de estas yacencias, las asociaciones minerales indican inequívocamente que estas pegmatitas pertenecen a la familia petrogenética NYF.

CONSIDERACIONES FINALES

La Provincia Pegmatítica Pampeana representa una unidad petrogenética de gran relevancia en el contexto regional de Sudamérica. Dentro de esta extensa unidad, la región noroeste adquiere significativa importancia para dilucidar los procesos evolutivos desarrollados durante los ciclos orogénicos Pampeano y especialmente los ciclos Famatiniano y Achaliano. En el ciclo Famatiniano, se destaca un magmatismo de arco que dio lugar durante el Ordovícico al emplazamiento de granitoides meta y peraluminosos relacionados principalmente con distritos pegmatíticos de la familia LCT, mientras que el ciclo Achaliano durante el Devónico Medio-Carbonífero inferior se caracteriza por el desarrollo de granitos generalmente de tipo A, de ambiente de intraplaca, a los cuales se vinculan extendidos campos pegmatíticos post-orogénicos de filiación NYF (o híbrida LCT-NYF).

Las pegmatitas de las Sierras Pampeanas de la región NOA corresponden en su gran mayoría a la clase de Elementos Raros, y subordinamente a las clases Muscovita y Miarolítica. Mineralógicamente, el berilo y el espodumeno son los minerales accesorios más importantes en las pegmatitas de la clase de Elementos Raros acompañados por otros constituyentes menores que incluyen a minerales silicatados, fosfatos y óxidos simples y compuestos. Mientras tanto, en las pegmatitas de la clase Muscovita puede encontrarse ocasionalmente andalucita, como son los casos de los distritos peraluminosos Ambato-Mazán.

El potencial gemológico de las pegmatitas graníticas de la región NOA es aún una incógnita. Muchos de los cuerpos pegmatíticos han sido escasamente explotados y esta situación ha contribuido a que en la actualidad sea reducido el conocimiento integral de las diferentes zonas mi-

neralizadas. En este contexto adquieren particular importancia las pegmatitas berilíferas de La Rioja, Catamarca, Tucumán y Salta.

Agradecimientos

Los autores agradecen al revisor Dr. Raúl Lira, que con sus observaciones y recomendaciones hicieron posible una sustancial mejora de este trabajo. El apartado sobre pegmatitas de El Portezuelo fue extractado de una tesis doctoral financiada por CONICET y dirigida por el Dr. Raúl Lira. Una parte importante de la información analítica de la misma fue medida gracias a la colaboración de William Simmons y Alexander Falster (University of New Orleans, EUA). También deseamos agradecerle al Dr. Lira por facilitar bibliografía sobre el stock La Chinchilla.

REFERENCIAS

- Aceñolaza, F. y Toselli, A. 1973. Consideraciones estratigráficas y tectónicas sobre el Paleozoico inferior del Noroeste Argentino. II Congreso Latinamericano de Geología, Actas 2: 755-763, Caracas.
- Aceñolaza, F.G. y Toselli, A.J. 1977. Esquema geológico de la Sierra de Ancasti, provincia de Catamarca. Acta Geológica Lilloana XIV: 233-259.
- Aceñolaza, F.G. y Toselli, A. 1981. Geología del Noroeste Argentino. Facultad de Ciencias Naturales e Instituto Miguel Lillo, Tucumán, Publicación Especial 1287, 212 pp.
- Acosta, G., Jurado Marron, H., Fuentes, S., Watkins, S. y Ovejero de Filippin, A. 1988. Estudio geoeconómico de pegmatitas. Dirección Provincial de Minería de la provincia de Catamarca (inédito), 160 pp, Catamarca.
- Anglelli, V. 1984. Yacimientos metalíferos de la República Argentina, Volumen I. CIC (Comisión de Investigaciones Geológicas de la Provincia de Buenos Aires), La Plata, 391 pp.
- Alasino, P., Dahlquist, J., Pankhurst, R., Galindo, C., Casquet, C., Rapela, C., Larrovere, M. y Fanning, C. 2012. Early Carboniferous sub- to mid-alkaline magmatism in the Eastern Sierras Pampeanas, NW Argentina: A record of crustal growth by the incorporation of mantle-derived material in an extensional setting. Gondwana Research 22: 992-1008.
- Ávila, J.C. 1992. Metalogénesis de estaño y tungsteno en la provincia de Catamarca, Argentina. Acta Geológica Lilloana XVII: 149-154.
- Ávila, J.C. y Papetti, L. 1984. Geología y metalogénesis del Cerro Alto de la Mina, departamento Belén, Provincia de Catamarca. IX Congreso Geológico Argentino, Actas 5: 553-564, San Carlos de Bariloche.
- Ávila, J.C. y Porto, J.C. 1982. Presencia de topacio en el contacto granito-basamento del área de Papachacra, provincia de Catamarca. Acta Geológica Lilloana XVI: 214-220.
- Ávila, J.C., Lazarte, J.E. y Velazco Robles, L.E. 1987. Metalogénesis del distrito minero Culampajá-Papachacra, provincia de Catamarca, República Argentina. X Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 209-212, San Miguel de Tucumán.
- Ávila, J.C., Lazarte, J.E., Gianfrancisco, M. y Fogliata, A.S. 1999. Metalogénesis de wolframio y estaño de Catamarca, Argentina. En: Zappettini, E.O. (Ed.), Recursos Minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino. Anales 35: 563-573, Buenos Aires.
- Barber, E., Chipulina, M. y Martínez, L. 1994. Hoja Geológica 2966-II, San Fernando del Valle de Catamarca. Dirección Nacional del Servicio Geológico, Secretaría de Minería de la Nación, Boletín 212, Buenos Aires.
- Bardelli, F.M. 2014. Caracterización de los sistemas hidrotermales y su relación con la mineralización de uranio en el granito La Chinchilla, Sierra de Velasco, La Rioja. Tesis de Licenciatura, Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 147 pp, Córdoba.
- Battich, M.E. y Cisterna, C. 2016. Zonación de la pegmatita Don Arturo, sierra de Ancasti, Catamarca. Acta Geológica Lilloana XXVIII: 33-39.
- Bodnar, R. 1993. Revised equation and table for determining the freezing point depression of H₂O-NaCl solution. Geochimica et Cosmochimica Acta 57: 683-684.
- Brisbin, W. 1986. Mechanics of pegmatite intrusion. American Mineralogist 71: 644-651.
- Cameron, E., Jahns, R., McNair, A. y Page, L. 1949. Internal structure of granitic pegmatites. Economic Geology Monograph 2, 115 pp.
- Caminos, R. 1979. Sierras Pampeanas Noroccidentales. Salta, Tucumán, Catamarca, La Rioja y San Juan. En: Turner, J.C. (Ed.), Segundo Simposio de Geología Regional Argentina. Academia Nacional de Ciencias, Córdoba, 1: 225-291.
- Candela, P.A. 1997. A Review of Shallow, Ore-Related Granites: Textures, Volatiles, and Ore Metals. Journal of Petrology 38: 1619-1633.
- Černý, P. 1991. Rare-element granitic pegmatites. Part I: anatomy and internal evolution of pegmatite deposits. Part II: regional to global environments and petrogenesis. Geoscience Canada 18: 49-81.
- Černý, P. 2002. Mineralogy of beryllium in Granitic Pegmatites. En: Grew, E. (Ed.), Beryllium: mineralogy, petrology and geochemistry. Reviews in Mineralogy and Geochemistry 50: 405-444.
- Černý, P. y Ercit, S. 2005. The classification of granitic pegmatites revisited. The Canadian Mineralogist 43: 2005-2026.
- Cisterna, C. 2003. Faja intrusiva La Majada, sierra de Ancasti, Catamarca: caracterización petrológica-estructural. Revista de la Asociación Geológica Argentina 58: 20-30.
- Cisterna, C., Battich, M.E., Aldonate, D. y Sardi, F.G. 2016. Deformación intracristalina en cuarzo: pegmatita Don Arturo, Sierra de Ancasti, Catamarca. Acta Geológica Lilloana XXVIII: 90-92.
- Coira, B.L. y Koukharsky, M. 1970. Geología y petrología de la Sierra Brava, provincia de La Rioja, República Argentina. Revista de la Asociación Geológica Argentina 25: 444-466.
- Collins, P.L. 1979. Gas hydrates in CO₂ bearing inclusions and the use of freezing data for estimation of salinity. Economic Geology 74: 1435-1444.

- Collins, W.J., Beams, S.D., White, A.J.R. y Chappell, B.W. 1982. Nature and origin of A-type granites with particular reference to Southeastern Australia. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 80: 189-200.
- Colombo, F. 2004. Danalita en una pegmatita relacionada al cuerpo El Portezuelo (Granito Papachacra), Catamarca, Argentina. VII Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 23-24, Río Cuarto.
- Colombo, F. 2006. Geología, mineralogía y génesis de granitoides de tipo A y sus pegmatitas asociadas en el plutón compuesto El Portezuelo (Granito Papachacra, Provincia de Catamarca). Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Córdoba (inédita), 479 pp, Córdoba.
- Colombo, F. 2008a. Los minerales accesorios del granito biotítico El Portezuelo (Papachacra, Provincia de Catamarca). XVII Congreso Geológico Argentino, Actas 1: 199-200, San Salvador de Jujuy.
- Colombo, F. 2008b. Polimorfos del TiO_2 de apilitas-pegmatitas en Papachacra, Provincia de Catamarca. IX Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 1-8, San Salvador de Jujuy.
- Colombo, F., Lira, R. y Dorais, M.J. 2005a. Sienita alcalifeldespática parcialmente fenitizada asociada al plutón El Portezuelo Occidental (Granito Papachacra), Catamarca, Argentina. XVI Congreso Geológico Argentino, Actas CD, Resumen 435, La Plata.
- Colombo, F., Lira, R., Dorais, M.J. y Carbonio, R.E. 2005b. The NYF-type Papachacra pegmatite district, Catamarca Province (Argentina). 32 Rochester Mineralogical Symposium, Actas 1: 10-11, Rochester, EEUU.
- Colombo, F., Lira, R. y Pannunzio Miner, E.V. 2009. Mineralogical characterization of topaz from miarolitic pegmatites and W-bearing greisen in the A-type El Portezuelo granite, Papachacra (Catamarca Province). *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 64: 194-200.
- Colombo, F., Lira, R., O'Leary, S. y Tassinari, C. 2010a. Los diques comendíticos de Papachacra (Catamarca, Argentina): magmatismo peralcalino en Sierras Pampeanas Orientales. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 66: 194-205.
- Colombo, F., Lira, R. y Dorais, M.J. 2010b. Mineralogy and crystal chemistry of micas from the A-type El Portezuelo granite and related pegmatites, Catamarca (NW Argentina). *Journal of Geosciences* 55: 43-56.
- Colombo, F., Lira, R., Simmons, W. y Falster, A.U. 2011a. The NYF-type miarolitic-rare earth elements pegmatites of the El Portezuelo Granite, Papachacra (Catamarca, NW Argentina). *Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial* 14: 57-59.
- Colombo, F., Simmons, W., Falster, A.U. y Lira, R. 2011b. Occurrence and crystal chemistry of zircon from the NYF-type miarolitic pegmatites of the El Portezuelo Granite, Papachacra (Catamarca, NW Argentina). *Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial* 14: 61-63.
- Colombo, F., Simmons, W., Falster, A.U. y Lira, R. 2011c. Occurrence, crystal chemistry and alteration of thorite from the NYF-type miarolitic pegmatites of the El Portezuelo Granite, Papachacra (Catamarca, NW Argentina). *Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial* 14: 65-67.
- Cravero, O. 2005. Las pegmatitas zonadas de la sierra de Velasco, La Rioja. *Serie de Correlación Geológica* 19: 133-144.
- Curci, M., Ramis, A. y de Barrio, R. 2016. Isótopos estables e inclusiones fluidas en la pegmatita "La Dichosa", Sierra de Ambato, La Rioja. *Acta Geológica Lilloana XXVIII*: 106-111.
- Dahlquist, J., Pankhurst, R., Rapela, C., Casquet, C., Fanning, C., Alasino, P. y Báez, M. 2006. The San Blas Pluton: An example of Carboniferous plutonism in the Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 20: 341-350.
- Dahlquist, J., Alasino, P., Eby, N., Galindo, C. y Casquet, C. 2010. Fault controlled Carboniferous A-type magmatism in the proto-Andean foreland: Geochemical constraints and petrogenesis. *Lithos* 115: 65-81.
- Dahlquist, J., Rapela, C., Baldo, E., Murra, J., Alasino, P. y Colombo, F. 2011. Stock monzogranítico El Chorro (sierra de Ancasti, Catamarca): un ejemplo de magmatismo tipo S con granate ígneo. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 68: 195-204.
- Dahlquist, J., Rapela, C., Pankhurst, R., Fanning, M., Vervoort, J., Hart, G., Baldo, E., Murra, J., Alasino, P. y Colombo, F. 2012. Age and magmatic evolution of the Famatinian granitic rocks of Sierra de Ancasti, Sierras Pampeanas, NW Argentina. *Journal of South American Earth Science* 34: 10-25.
- Dahlquist, J., Pankhurst, R., Gasching, R., Rapela, C., Casquet, C., Alasino, P., Galindo, C. y Baldo, E. 2013. Hf and Nd isotopes in Early Ordovician to Early Carboniferous granites as monitors of crustal growth in the Proto-Andean margin of Gondwana. *Gondwana Research* 23: 1617-1630.
- Dahlquist, J., Verdecchia, S., Baldo, E., Basei, M., Alasino, P., Urán, G., Rapela, C., da Costa Campos, M. y Zandomeni, P. 2016. Early Cambrian U-Pb zircon age and Hf-isotope data from the Guasayán pluton, Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the northwestern boundary of the Pampean arc. *Andean Geology* 43: 137-150.
- Da Silva, M., Höll, R. y Beurlen, H. 1995. Borborema Pegmatitic Province: geological and geochemical characteristics. *Journal of South American Earth Sciences* 8: 355-364.
- Eby, G.N. 1992. Chemical subdivision of the A-type granitoids: Petrogenetic and tectonic implications. *Geology* 20: 641-644.
- Elortegui Palacios, J., Lira, R., Poklepovic, F. y Dorais, M. 2008. El granito Calasuya: un intrusivo alcalifeldespático postcolisional en el batolito de Sierra Norte-Ambargasta, Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 63: 299-309.
- Evensen, J., London, D. y Wendlandt, R. 1999. Solubility and stability of beryl in granitic melts. *American Mineralogist* 84: 733-745.
- Fernández Lima, F., Rinaldi, C. y Turazzini, G. 1972. Pegmatita litífera "Reflejos de Mar", Ancasti, provincia de Catamarca. IV Jornadas Geológicas Argentinas, Actas: 43-60, Mendoza.

- Fogliata, A. y Ávila, J. 1997. Manifestaciones minerales de la ladera occidental del Cerro mazán, provincia de La Rioja, Argentina. VIII Congreso Geológico Argentino, Actas 2: 961-965, San Luis.
- Galliski, M.A. 1983a. Distrito Minero El Quemado, departamentos La Poma y Cachi, provincia de Salta. II: El basamento del tramo septentrional de la Sierra de Cachi. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 38: 209-224.
- Galliski, M.A. 1983b. Distrito Minero El Quemado, departamentos La Poma y Cachi, provincia de Salta. II: Geología de sus pegmatitas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 38: 340-380.
- Galliski, M.A. 1994a. La Provincia Pegmatítica Pampeana. I: Tipología y distribución de sus distritos económicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 49: 113-122.
- Galliski, M.A. 1994b. La Provincia Pegmatítica Pampeana. II: Metalogénesis de sus distritos económicos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 49: 99-112.
- Galliski, M. 1999a. Distritos pegmatíticos Ambato y Quilmes, Catamarca y Tucumán. En: Zappettini, E.O. (Ed.), Recursos minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 35: 389-392.
- Galliski, M. 1999b. Distrito pegmatítico Ancasti, Catamarca. En: Zappettini, E.O. (Ed.), Recursos minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 35: 393-396.
- Galliski, M. 1999c. Distrito pegmatítico Sierra Brava, La Rioja. En: Zappettini, E.O. (Ed.), Recursos minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 35: 351-352.
- Galliski, M. 1999d. Distrito pegmatítico El Quemado, Salta. En: Zappettini, E.O. (Ed.), Recursos minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 35: 347-350.
- Galliski, M. 2009. The Pampean Pegmatite Province, Argentina: a review. *Estudios Geológicos* 29: 30-34.
- Galliski, M. y Linares, E. 1999. New K-Ar muscovite ages from pegmatites of the Pampean Pegmatite Province. II Simposio de Geología y Geología Isotópica, Actas: 63-67, Villa Carlos Paz.
- Galliski, M.A. y Lomniczi de Upton, I. 1993. Composición y propiedades de minerales de niobio y tantalio de las pegmatitas graníticas de El Quemado. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 47: 323-331.
- Galliski, M.A., Toselli, A. y Saavedra, J. 1990. Petrology and geochemistry of Cachi high-alumina trondhjemites, Northwestern Argentina. En: Mahlburg Kay, S. y Rapela C.W. (Eds.), Plutonism from Antarctica to Alaska. Geological Society of America, Special Paper 241: 91-100.
- García, H.H. 1974. Las calizas cristalinas de Totorillas. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 29: 295-303.
- García, H.H. 1981. "Ribbon rock" en el distrito minero Papachacra, Departamento Belén, Provincia de Catamarca. *Revista de la Asociación Argentina de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 12: 89-94.
- García, H.H. y Rossello, E.A. 1984. Geología y yacimientos minerales de Papachacra, departamento Belén, Provincia de Catamarca. IX Congreso Geológico Argentino, Actas 7: 245-259, San Carlos de Bariloche.
- García, H.H., Massabie, A.C. y Rossello, E.A. 1981. Contribución a la geología de La Cuesta, departamento Belén, Provincia de Catamarca. VIII Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 853-865, San Luis.
- García, H.H., Rossello, E.A. y Massabie, A.C. 1982. El depósito Tiburcio, ejemplo argentino de roca ribbon, Papachacra, Departamento Belén, Provincia de Catamarca, Argentina. V Congreso Latinoamericano de Geología, Actas 2: 735-750, Buenos Aires.
- Garrido, L., Etcheverry, R., Fernández, R. y Schalamuk, I. 1984. La andalucita de Mazán (Provincia de La Rioja) y sus características tecnológicas. *Revista del Museo de La Plata (Nueva serie). Sección Geológica*, tomo IX, 78: 121-140.
- Gómez, G.M. y Lira, R. 1994. Estudio de feldespatos potásicos del stock granítico de Serrezuela, provincia de Córdoba. II Reunión de Mineralogía y Metalogénesis, Actas: 167-173, La Plata.
- Gómez, G.M. y Martínez, E. 1997. Fluid evolution in gemstone miarolitic cavities and quartz veins in a shallow granite intrusive, Sierras Pampeanas, Argentina. 14th ECROFI (European Current Research on Fluid Inclusions), Actas 1: 128-129, Nancy, Francia.
- Gómez, G.M. y Martínez, E. 1999. Distribución temporal de los fluidos posmagmáticos e hidrotermales en el plutón granítico de Serrezuela, Provincia de Córdoba. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 54: 195-205.
- Grosse, P., Söllner, F., Báez, M., Toselli, A., Rossi, J. y de la Rosa, D. 2009. Lower Carboniferous post-orogenic granites in central-eastern Sierra de Velasco, Sierras Pampeanas, Argentina: U-Pb monazite geochronology, geochemistry and Sr-Nd isotopes. *International Journal of Earth Sciences* 98: 1001-1025.
- Herrera, A. 1964. Las pegmatitas de la Provincia de Catamarca. Estructura interna, mineralogía y génesis. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 19: 35-56.
- Herrera, A. 1965. Evolución geoquímica de las pegmatitas zonales de los principales distritos argentinos. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 20: 199-228.
- Herrera, A. 1968. Geochemical evolution of zoned pegmatites of Argentina. *Economic Geology* 63: 13-29.
- Herrera, A. 1971. Pegmatitas de la sierra de Velasco y de la sierra Brava, provincia de La Rioja; estructura, mineralogía y génesis. I Simposio Nacional de Geología Económica, Tomo I: 245-258, San Juan.
- Höckenreimer, M., Söllner, F. y Miller, H. 2003. Dating the TIPA shear zone: Early Devonian terrane boundary between Famatinian and Pampean systems (NW Argentina). *Journal of South American Earth Sciences* 16: 45-66.
- Hollister, L.S. y Burruss, R.C. 1976. Phase equilibria in fluid inclusions from the Khtada Lake metamorphic complex. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 40: 163-175.

- Hoskin, P.W.O. y Schaltegger, U. 2003. The Composition of Zircon and Igneous and Metamorphic Petrogenesis. En: Hanchar, J.M. y Hoskin, P.W.O. (Eds.), *Zircon. Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 53: 27-62.
- Ianizzotto, N.F., Rapela, C.W., Baldo, E.G.A., Galindo, C., Fanning, C.M. y Pankhurst, R.J. 2013. The Sierra Norte-Ambargasta batholiths: late Ediacaran-Early Cambrian magmatism associated with Pampean transpressional tectonics. *Journal of South American Earth Sciences* 42: 127-143.
- Irber, W. 1999. The lanthanide tetrad effect and its correlation with K/Rb, Eu/Eu*, Sr/Eu, Y/Ho, and Zr/Hf of evolving peraluminous granite suites. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 63: 489-508.
- Jahns, R. y Burnham, C. 1969. Experimental studies of pegmatite genesis: I. A model for the derivation and crystallization of granitic pegmatites. *Economic Geology* 64: 843-864.
- King, P.L., White, A.J.R., Chappell, B.W. y Allen, C.M. 1997. Characterization and Origin of Aluminous A-type Granites from the Lachlan Fold Belt, South-eastern Australia. *Journal of Petrology* 38: 371-391.
- Knüver, M. 1983. Dataciones radiométricas de rocas plutónicas y metamórficas. En: Aceñolaza, F., Miller, H. y Toselli, A. (Eds.), *Geología de la Sierra de Ancasti. Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie* 59: 201-218.
- Kuck, A. y Saadi, J.A. 1998a. Les minéraux des pegmatites de Papachacra (Argentine). *Le Règne Minéral* 22: 5-13.
- Kuck, A. y Saadi, J.A. 1998b. Primer hallazgo de bertrandita en la Argentina. *Boletín de la Asociación de Geología, Mineralogía y Paleontología*, 130: 4-6.
- Larrovere, M., de Los Hoyos, C., Toselli, A., Rossi, J., Basei, M. y Beldar, M. 2011. High T/P evolution and metamorphic ages of the migmatitic basement of northern Sierras Pampeanas, Argentina: Characterization of a mid-crustal segment of the Famatinian belt. *Journal of South American Earth Sciences* 31: 279-297.
- Larrovere, M., de Los Hoyos, C. y Grosse, P. 2012. Los complejos metamórficos del retro-arco Famatiniano (noroeste de Argentina): caracterización geoquímica e isotópica de sus protolitos e implicancias geotectónicas. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas* 29: 676-695.
- Lazarte, J.E. 1987. Contribución a la petrología de los granitoides de la Sierra de Papachacra, Catamarca, República Argentina. X Congreso Geológico Argentino, Actas 4: 69-71, San Miguel de Tucumán.
- Lazarte, J.E. 1991. Estudio petrológico y geoquímico de los granitoides de las Sierras de Papachacra y Culampajá. Relaciones metalogenéticas. Tesis Doctoral, Universidad Nacional de Tucumán (inédita), 281 pp, San Miguel de Tucumán.
- Lazarte, J.E. 1992. La Formación Chango Real (NW de Sierras Pampeanas, República Argentina), ejemplo del magmatismo paleozoico (Cámbrico?). Diferencias geoquímicas con batolitos ordovícicos. *Estudios Geológicos* 48: 257-267.
- Lazarte, J.E. 1994. Geología y geoquímica del Granito Papachacra (¿Carbonífero?), Sierras Pampeanas, Catamarca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 49: 337-352.
- Lazarte, J.E. 2002. Diques básicos mineralizados (Pb-Zn-Cu) en el Alto de La Mina, Catamarca. VI Congreso de Mineralogía y Metalogenia, Actas: 217-224, Buenos Aires.
- Lira, R., Millone, H., Kirschbaum, A. y Moreno, R. 1997. Calc-alkaline arc granitoid activity in the Sierra Norte-Ambargasta Ranges, Central Argentina. *Journal of South American Earth Sciences* 10: 157-177.
- Lira, R., Gómez, G.M., Ripley, E.M. y Johnson, T.W. 1999. Regional occurrence of meteoric water alteration-mineralization systems in Devonian-Carboniferous granitoids of the Eastern Sierras Pampeanas of Central Argentina. II South American Symposium on Isotope Geology, Actas: 474-480, Villa Carlos Paz.
- Lira, R., Poklepovic, M.F. y O'Leary, M.S. 2014. El magmatismo cámbrico en el batolito de Sierra Norte-Ambargasta. En: Martino, R. y Guerreschi, A. (Eds.), *Geología y Recursos Naturales de la provincia de Córdoba. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino*: 183-215, Córdoba.
- Lira, R., Parra, F., Bardelli, F.M., Galliski, M.Á. y Scarlatta, L. 2015. Amazonite from miarolitic NYF pegmatites and primary accessory minerals of the A-type La Chinchilla granite, Sierra de Velasco, La Rioja province, Argentina. 7° International Symposium on Granitic Pegmatites, Actas: 40-41, Książ, Polonia.
- London, D. 1992. The application of experimental petrology to the genesis and crystallization of granitic pegmatites. *The Canadian Mineralogist* 30: 499-540.
- London, D. 2008. Pegmatites. *The Canadian Mineralogist, Special Publication* 10: 347 pp.
- London, D. y Manning, D.A. 1995. Chemical variation and significance of tourmaline from Southwest England. *Economic Geology* 90: 495-519.
- Lottner, U. 1983. Las pegmatitas de la Sierra de Ancasti. En: Aceñolaza, F., Miller, H. y Toselli, A. (Eds.), *Geología de la Sierra de Ancasti. Münstersche Forschungen zur Geologie Paläontologie* 59: 137-151.
- Menzies, M.A. 1995. The mineralogy, genesis and occurrence of topaz. *The Mineralogical Record* 26: 5-53.
- Miller, H. y Söllner, F. 2005. The Famatina complex (NW Argentina): back-docking of an island arc or terrane accretion? Early Paleozoic geodynamics at the western Gondwana margin. En: Vaughan, A., Leat, P. y Pankhurst, R. (Eds.), *Terrane processes at the margins of Gondwana. Geological Society of London, Special Publications* 246: 241-256.
- Morteani, G., Preinfalk, C., Spiegel, W. y Bonalumi, A. 1995. The Achala Granitic Complex and the Pegmatites of the Sierras Pampeanas (Northwest Argentina): A study of differentiation. *Economic Geology* 90: 636-647.
- Morteani, G., Preinfalk, C. y Horn, A. 2000. Classification and mineralization potential of the pegmatites of the Eastern Brazilian Pegmatite Province. *Mineralium Deposita* 35: 638-655.
- O'Leary, M.S., Lira, R., Dorais, M. y Tassinari, C.C. 2009. Post-collisional lamprophyric event in Sierra Norte, Córdoba, Argentina: mineralogical, geo-

- chemical and isotopical characteristics. *Journal of South American Earth Sciences* 28: 277-287.
- O'Leary, M.S., Lira, R. y Poklepovic, M.F. 2014. Volcanismo y subvolcanismo cámbrico del sector centro-oeste del batolito de Sierra Norte-Ambargasta. En: Martino, R. y Guerreschi, A. (Eds.), *Geología y Recursos Naturales de la provincia de Córdoba. Relatorio del XIX Congreso Geológico Argentino*: 217-232, Córdoba.
- Pankhurst, R.J., Rapela, C. y Fanning, C. 2000. Age and origin of coeval TTG, I- and S- type granites in the Famatinian belt of NW Argentina. *Transaction of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences* 91: 151-168.
- Peralta, E.H., Watkins, S.G. y Ovejero, A.I. 1995. Informe final del proyecto "Diversificación potencial minero no tradicional de Catamarca". Secretaría de Ciencia y Tecnología. Facultad de Tecnología y Ciencias Aplicadas, Universidad Nacional de Catamarca, (inédito), 16 pp, Catamarca.
- Peralta, E.H., Ovejero, A.I. y Wartkins, S.G. 1998. El topacio en aluviones de los ríos Portero de Gerván y Quebradas del Chiquero y del Cajón, departamento Belén, Catamarca. *X Congreso Latinoamericano de Geología y VI Congreso Nacional de Geología Económica*, Actas 3: 119-123, Buenos Aires.
- Preinfalk, C., Morteani, G. y Huber, G. 2000. Geochemistry of the granites and pegmatites of the Araçuaí pegmatite District, Minas Gerais (Brazil). *Chemie der Erde (Geochemistry)* 60: 305-326.
- Ramis, A.M., Curci, M.V. y Botto, I.L. 2006. Inclusiones fluidas en cuarzo de la pegmatita La Dichosa, sierra de Ambato, La Rioja. *VIII Congreso de Mineralogía y Metalogenia*, Actas: 167-170, Buenos Aires.
- Rapela, C.W., Casquet, C., Baldo, E., Dahlquist, J., Pankhurst, R.J., Galindo, C. y Saavedra, J. 2001. Las Orogénesis del Paleozoico Inferior en el margen proto-andino de América del Sur, Sierras Pampeanas, Argentina. *Journal of Iberian Geology* 27: 23-41.
- Ricci, H. 1971. Geología y evaluación preliminar de las pegmatitas de las sierras de Velasco, departamento Capital-Sanagasta y Castro Barros, La Rioja. *Dirección Provincial de Minería* (inédito), 50 pp, La Rioja.
- Rossello, E.A., López de Lucchi, M.G. y Ostera, H. 2000. La Formación Papachacra (Belén, Catamarca): edades K/Ar y significados tectónicos y metalogénicos. *IX Congreso Geológico Chileno*, Actas 1: 360-364, Puerto Varas.
- Rossi, J., Willner, A. y Toselli, A. 2002. Ordovician metamorphism of the Sierras Pampeanas, Sistema de Famatina and Cordillera Oriental, Northwestern Argentina. *Serie de Correlación Geológica* 16: 225-242.
- Ryziuk, J., Sardi, F., Báez, M., Fogliata, A. y Hagemann, S. 2014. Petrografía y geoquímica de los granitos asociados a manifestaciones de fluorita en la zona de El Alto, sierra de Ancasti, provincia de Catamarca. *Acta Geológica Lilloana XXVI*: 95-110.
- Salvatore, M., Parra, F., Sánchez, D., Álvarez, J., Bello, C. y Zarco Ambrosio, J. 2013. Caracterización litogeoquímica del granito La Chinchilla y su relación con el uranio, sierra de Velasco, Provincia de La Rioja. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 70: 341-350.
- Sardi, F.G. 2005. Petrografía y caracterización de la mena del distrito pegmatítico Velasco, La Rioja, Argentina. *XVI Congreso Geológico Argentino*, Actas 5: 231-238, La Plata.
- Sardi, F.G. 2008. The geological context of gems in the Velasco Pegmatitic District, Argentina. *The Journal of Gemmology* 31: 85-89.
- Sardi, F.G. y Fuenlabrada Pérez, J. 2011. Rb-Sr geochronology for the "La Aurora" andalusite-bearing pegmatite from Mazán range, NW Argentina. *Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial* 14: 185-187.
- Sardi, F.G. y Grosse, P. 2005. Consideraciones sobre la clasificación del distrito Velasco de la Provincia Pegmatítica Pampeana, Argentina. *XVI Congreso Geológico Argentino*, Actas 5: 239-242, La Plata.
- Sardi, F.G. y Heimann, A. 2014. Pegmatitic beryl as indicator of melt evolution: example from the Velasco district, Pampeana Pegmatite Province, Argentina, and review of worldwide occurrences. *The Canadian Mineralogist* 52: 809-836.
- Sardi, F.G. y Lozano Fernández, R. 2010. Estudio geoquímico preliminar sobre la composición de feldspatos potásicos y muscovitas de pegmatitas de las sierras de Velasco y Mazán, provincia de La Rioja. *X Congreso de Mineralogía y Metalogenia*, Actas: 233-240, Río Cuarto.
- Sardi, F.G., Báez, M. y Grosse, P. 2006. Difracción de Rayos X en minerales del grupo del apatito proveniente de pegmatitas de la Sierra de Velasco, La Rioja, Argentina. *VIII Congreso de Mineralogía y Metalogenia*, Actas: 171-174, Buenos Aires.
- Sardi, F.G., Báez, M. y Grosse, P. 2008. Difracción de rayos X en triplitas pegmatíticas del Distrito Velasco, La Rioja, Argentina. *Acta Geológica Lilloana XXI*: 49-53.
- Sardi, F.G., Murata, M., Lozano Fernández, R., Báez, M., Fogliata, A. y Lazo, M. 2009a. Geological and geochemical setting of the Mazán Granite containing andalusite-pegmatites, Argentina. *Estudios Geológicos* 19: 326-331.
- Sardi, F.G., Bengochea, L. y Mas, G. 2009b. The mineral assemblage andalusite-cordierite from "La Aurora" pegmatite from Mazán Pegmatitic Field, Northwestern Argentina. *Estudios Geológicos* 19: 332-336.
- Sardi, F.G., Murata, M. y Grosse, P. 2010. Petrographical and geochemical features of the granite-pegmatite transition in the Velasco Pegmatitic District, NW Argentina. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie* 258: 61-71.
- Sardi, F.G., Aliaga Pueyrredón, J.M. y Toledo Ceccarelli, J.D. 2013. Estudio geológico preliminar de las pegmatitas litíferas de los grupos Villisman y El Taco, sierra de Ancasti, Catamarca. *Acta Geológica Lilloana XXV*: 69-73.
- Sardi, F.G., Heimann, A. y Sarapura Martínez, J. 2015. Geología local y mineralogía accesoria de las pegmatitas berilíferas del Distrito Velasco y rocas graníticas asociadas, Provincia Pegmatítica Pampeana, Noroeste de Argentina. *Serie de Correlación Geológica* 31: 111-132.
- Schalamuk, I. y Ramis, A. 1999. Pegmatitas andalusíticas de Mazán, La Rioja. En: Zappettini, E.O. (Ed.),

- Recursos Minerales de la República Argentina. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Anales 35: 397-400.
- Schalamuk, I., Toselli, A., Saavedra, J., Echeveste, H. y Fernández, R. 1989. Geología y mineralización del sector este de la sierra de Mazán, La Rioja, Argentina. *Revista de la Asociación de Mineralogía, Petrología y Sedimentología* 20: 1-12.
- Shepherd, T.J., Rankin, A.H. y Alderton D. 1985. A practical guide to fluid inclusion studies. Blackie. Glasgow and London, 239 pp.
- Sims, J., Ireland, T., Camacho, A. Lyons, P., Pieters, P., Skirrow, R. y Stuart-Smith P. 1998. U-Pb, Th-Pb and Ar-Ar geochronology from the southern Sierras Pampeanas, Argentina: implications for the Paleozoic tectonic evolution of the western Gondwana margin. En: Pankhurst, R. y Rapela, C. (Eds.), *The proto-Andean margin of Gondwana*. Geological Society of London, Special Publications 142: 259-281.
- Söllner, F., Höckenreiner, M. y Miller, H. 2003. Age determinations and geochemical development of Early Devonian mylonite zones in NW-Argentina, La Rioja and Catamarca provinces. XVIII Colloquium Latin American Earth Sciences, Actas 1: 72, Freiburg, Alemania.
- Sureda, R. y Omarini, R. 1999. Evolución geológica y nomenclatura pre-Gondwánica en el Noroeste de Argentina (1800-160 Ma). *Acta Geológica Hispánica* 34: 197-225.
- Sureda, R.J., Galliski, M.A., Argañaraz, P. y Daroca, J., 1986. Aspectos metalogénicos del Noroeste Argentino (provincias de Salta y Jujuy). *Capricornio* 1: 39-96.
- Stilling, A., Černý, P. y Vanstone, P. 2006. The Tanco pegmatite at Bernic Lake, Manitoba. XVI. Zonal and bulk compositions and their petrogenetic significance. *The Canadian Mineralogist* 44: 599-623.
- Swanson, S.E. y Fenn, P.M. 1986. Quartz crystallization in igneous rocks. *American Mineralogist* 71: 331-342.
- Taylor, B.E. y Friedrichsen, H. 1983. Light stable isotope systematic of granitic pegmatites from North America and Norway. *Chemical Geology* 41: 127-167.
- Taylor, B.E., Foord, E.E. y Friedrichsen, H. 1979. Stable isotope and fluid inclusion studies of GEM-bearing granitic pegmatite-aplite dikes, San Diego Co., California. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 68: 187-205.
- Taylor, R.P. 1992. Petrological and geochemical characteristics of the Pleasant Ridge zinnwaldite-topaz granite, southern New Brunswick, and comparison with other topaz-bearing felsic rocks. *The Canadian Mineralogist* 30: 895-921.
- Toselli, A.J., Reissinger, F., Durand, F. y Bazán, C. 1983. Rocas graníticas. En: Aceñolaza, F., Miller, H. y Toselli, A. (Eds.), *Geología de la Sierra de Ancasti*. Münstersche Forschungen zur Geologie Paläontologie 59: 79-99.
- Toselli, A.J., Aceñolaza, F. y Rossi de Toselli, J. 1986. A proposal for the systematization of the Upper Precambrian-Lower Paleozoic basement in the Sierras Pampeanas, Argentina. *Zentralblatt für Geologie und Paläontologie, Teil I*: 1227-1233.
- Toselli, A.J., Miller, H., Aceñolaza, F., Rossi, J. y Söllner, F. 2007. The Sierra de Velasco (northwestern Argentina)-an example for polyphase magmatism at the margin of Gondwana. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Mh.* 246: 325-345.
- Toselli, A.J., Rossi, J.A., Basei, M.A.S. y Passarelli, C.R. 2011. Petrogenesis of Paleozoic post-collisional peraluminous leucogranites, Sierra de Ancasti, north-west Argentina. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abh.* 261/2: 151-164.
- Turner, J.C. 1960. Estratigrafía de la Sierra de Santa Victoria y adyacencias. *Boletín de la Academia Nacional de Ciencias de Córdoba* 41(2): 163-196.
- Turner, J.C. 1962. Estratigrafía de la región al naciente de la Laguna Blanca. *Revista de la Asociación Geológica Argentina* 12: 11-45.
- Turner, J.C. 1973. Descripción geológica de la Hoja 11-d, Laguna Blanca, Provincia de Catamarca. Instituto de Geología y Recursos Minerales, Servicio Geológico Minero Argentino, Boletín 142, Buenos Aires.
- Verdecchia, S., Reche, J., Baldo, E., Segovia-Díaz, E. y Martínez, J. 2013. Staurolite porphyroblast controls on local bulk compositional and microstructural changes during decompression of a St-Bt-Grt-Crd-And schist (Ancasti metamorphic complex, Sierras Pampeanas, W Argentina). *Journal of Metamorphic Geology* 31: 131-146.
- von Quadt, A. y Galliski, M. 2011. U-Pb LA-ICPMS columbite-tantalite group ages from the Pampean Pegmatite Province: preliminary results. *Asociación Geológica Argentina, Serie D, Publicación Especial* 14: 221-223.
- Whalen, J.B., Currie, K.L. y Chappel, B.W. 1987. A-type granites: geochemical characteristics, discrimination and petrogenesis. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 95: 407-419.
- Whitney, D. y Evans, D. 2010. Abbreviations for names of rock-forming minerals. *American Mineralogist* 95: 185-187.
- Willner, A. 1983. Evolución metamórfica. En: Aceñolaza, F., Miller, H. y Toselli, A. (Eds.), *Geología de la Sierra de Ancasti*. Münstersche Forschungen zur Geologie und Paläontologie 59:189-200.
- Willner, A. 1990. División tectonometamórfica del basamento del Noroeste Argentino. En: Aceñolaza, F., Miller, H. y Toselli, A. (Eds), *El Ciclo Pampeano en el Noroeste Argentino*. Serie Correlación Geológica 4: 113-159.
- Willner, A.P., Miller, H. y Jezek, P. 1990. Composición geoquímica del basamento sedimentario-metamórfico de los Andes del NW Argentino (Precámbrico superior-Cámbrico inferior). En: Aceñolaza, F., Miller, H. y Toselli, A. (Eds.), *El Ciclo Pampeano en el noroeste Argentino*. Serie Correlación Geológica 4: 161-179.
- Winther, K.T. 1995. A model for estimating the composition of partial melts. *Mineralogy and Petrology* 53: 189-195.
- Zheng, Y.F. 1993. Calculation of oxygen isotope fractionation in anhydrous silicate minerals. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 57: 1079-1091.